

明 細 書

静電吸引型流体吐出方法及びその装置

技術分野

- [0001] 本発明は、インク等の流体を帯電させて静電吸引することで、基板などの対象物上に該流体を吐出する静電吸引型流体吐出方法及びその装置に関するものである。

背景技術

- [0002] 一般に、インク等の流体を対象物(記録媒体)上に吐出する流体ジェット方式には、インクジェットプリンタとして実用化されているピエゾやサーマルなどの方式があるが、その他の方式として、吐出する流体に電界を印加してノズルのノズル孔(インク吐出孔・吐出孔)から吐出させる静電吸引方式がある

このような静電吸引方式の流体吐出装置(以下、静電吸引型流体吐出装置と称する)としては、例えば日本国特許公報「特公昭36-13768号公報(公告日昭和36年8月18日)」、日本国公開特許公報「特開2001-88306号公報(公開日平成13年4月3日)」において開示がある。

- [0003] また、日本国公開特許公報「特開2000-127410号公報(公開日平成12年5月9日)」には、ノズル孔をスリット状とすると共にノズル孔に突出した針電極を設け、該針電極を用いて微粒子を含むインク吐出する装置が開示されている。

- [0004] また、日本国公開特許公報「特開平8-238774号公報(公開日平成8年9月17日)」には、ノズル孔より内部のインク室に電圧印加用の電極を設けた装置が開示されている。

- [0005] ここで、従来の静電吸引型流体吐出装置における流体吐出モデルを説明する。

- [0006] 静電吸引型流体吐出装置、とりわけオンデマンド型の静電吸引型流体吐出装置の設計要因としては、インク液体の導電性(例えば比抵抗 $10^6 \sim 10^{11} \Omega \text{cm}$)、表面張力(例えば $0.020 \sim 0.040 \text{N/m}$)、粘度(例えば $0.011 \sim 0.015 \text{Pa}\cdot\text{s}$)、印加電圧(電場)がある。そして、印加電圧としては、ノズルに印加する電圧、およびノズルと対向電極間との距離が特に重要とされていた。

- [0007] 静電吸引型流体吐出装置においては、電気流体的な不安定性を利用しており、図

32にこの様子を示す。一様電界の中に導電性流体を静置すると、導電性流体の表面に作用する静電力が表面を不安定にし、曳き糸の成長を促す(静電曳き糸現象)。この時の電場は、ノズル100と、ノズル100先端のノズル孔100aと距離 h を隔てて対向する対向電極101との間に電圧 V を印加したときに発生する電場 E_0 とする。この時の成長波長 λ_c は物理的に導くことが可能であり(例えば、画像電子情報学会, 第17巻, 第4号, 1988年, p.185-193)、次式で表される。

[0008]

$$\lambda_c = \frac{2\pi\gamma}{\epsilon_0} E_0^{-2} \quad \dots(1)$$

[0009] ここで、 γ :表面張力(N/m)、 ϵ_0 :真空の誘電率(F/m)、 E_0 :電界の強さ(V/m)である。ノズル径 d (m)が、 λ_c よりも小さい場合、成長は起こらない。すなわち、

$$d > \frac{\lambda_c}{2} = \frac{\pi\gamma}{\epsilon_0 E_0^2} \quad \dots(2)$$

[0010] が、吐出のための条件となっていた。

[0011] ここで、 E_0 は平行平板を仮定した場合の電界強度(V/m)で、ノズル-対向電極間距離を h (m)、ノズルに印加する電圧を V_0 として、

$$E_0 = \frac{V_0}{h} \quad \dots(3)$$

[0012] したがって、 d は、

$$d > \frac{\pi\gamma h^2}{\epsilon_0 V_0^2} \quad \dots(4)$$

[0013] となる。

[0014] ところで、静電吸引型流体吐出装置に関わらず流体吐出装置では、一般的により微細なドット形成やライン形成を可能とするために、インクを吐出するノズルの径を小さくしたいといった要望がある。

[0015] しかしながら、現在実用化されているピエゾ方式やサーマル方式などの流体吐出装置では、ノズル径を小さくして、例えば1plを下回るような微小量の流体の吐出は困

難である。これは、流体を吐出するノズルが微細になるほど吐出に必要な圧力が大きくなるためである。

[0016] また、上述のような流体吐出装置では、液滴の微細化と高精度化は相反する課題であり、両方を同時に実現するのは困難であった。これは以下の理由による。

[0017] ノズルから吐出された液滴に付与される運動エネルギーは、液滴半径の3乗に比例する。このため、ノズルを微細化した場合に吐出される微細液滴は、吐出時の空気抵抗に耐えるほどの十分な運動エネルギーを確保できず、空気滞留などによる攪乱を受け、正確な着弾を期待できない。さらに、液滴が微細になるほど、表面張力の効果が増すため、液滴の蒸気圧が高くなり蒸発量が激しくなる。このため、微細液滴は飛翔中に著しい質量の消失を招き、着弾時に液滴の形態を保つことすら難しいという問題があった。

[0018] またさらに、上述した従来の静電吸引型流体吐出装置における流体吐出モデルに基づくと、上記(2)式より、ノズル径の減少は吐出に必要な電界強度の増加を要請することとなる。そして、電界強度は、上記(3)式に示すように、ノズルに印加する電圧(駆動電圧) V_0 とノズル-対向電極間距離 h とによって決まるため、ノズル径の減少は駆動電圧の上昇を招来する。

[0019] ここで、従来の静電吸引型流体吐出装置における駆動電圧は、1000V以上と非常に高いため、各ノズル間でのリークや干渉化を考慮すると小型化および高密度化は難しく、ノズル径をさらに小さくすると上記問題がより大きなものとなる。また、1000Vを越えるような高電圧のパワー半導体は一般的に高価で周波数応答性も低い。

[0020] 尚、上記の日本国特許公報「特公昭36-13768号公報(公告日昭和36年8月18日)」で開示されているノズル径は0.127mmであり、日本国公開特許公報「特開2001-88306号公報(公開日平成13年4月3日)」で開示されているノズル径の範囲は50-2000 μm 、より好ましくは100-1000 μm といった範囲であった。

[0021] ノズル径に関して、従来の静電吸引型流体吐出における典型的な動作条件を当てはめて計算してみると、表面張力0.020N/m、電界強度 10^7V/m として、上記(1)式に代入して計算すると、成長波長 λ_c は約140 μm となる。すなわち、限界ノズル径として70 μm という値が得られる。すなわち、上記条件下では 10^7V/m の強電界

を用いてもノズル径が直径70 μ m程度以下の場合は背圧を印加して強制的にメニスカス形成させるなどの処置をとらない限り、インクの成長は起こらず、静電吸引型流体吐出は成立しないと考えられていた。すなわち、微細ノズルと駆動電圧の低電圧化は両立しない課題と考えられていた。

[0022] 以上のように、従来の流体吐出装置では、ノズルの微細化と高精度化は相反する課題であり、両方を同時に実現することは困難であった。また、特に静電吸引型流体吐出装置では、ノズルの微細化と駆動電圧の低電圧化とは両立しない課題と考えられていた。

[0023] 本発明は、上記課題に鑑みなされたものであって、その目的は、ノズルの微細化と微小流体の吐出及び着弾位置の高精度化、さらに、駆動電圧の低電圧化をすべて実現した静電吸引型流体吐出方法及びその装置を提供することにある。

発明の開示

[0024] 本発明の静電吸引型流体吐出装置は、上記目的を達成するために、電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、上記ノズルの吐出孔直径が0.01～25 μ mであると共に、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に上限電圧が設定されたパルス電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加する電圧印加手段を備え、該パルス電圧の立ち上がり直前に、上限電圧と同極性でかつ上記吐出可能最低電圧よりも絶対値の小さい予備充電電圧が設定されていることを特徴としている。

[0025] 本発明の静電吸引型流体吐出方法は、上記目的を達成するために、電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出方法において、上記ノズルの吐出孔直径を0.01～25 μ mとし、上記ノズルと上記基板との間に、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧を印加するにあたり、電圧の立ち上がり直前に、上記吐出可能最低電圧よりも絶対値の小さい印加電圧と同極性の予備充電電圧を印加することを特徴としている。

[0026] 上記の構成によれば、ノズルの吐出孔直径を0.01～25 μ mの微細径とすることで

、局所電界が発生し、微細ノズル化により吐出における駆動電圧の低下が可能となる。このような駆動電圧の低下は、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となる。もちろん、駆動電圧を低下させることで、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にする。なお、このようなノズルを微細化して局所電界を発生させて吐出を行うモデルの詳細については後述する。

[0027] さらに、該局所電界を用いた吐出モデルでは、吐出に必要な電界強度は、局所的な集中電界強度に依存することになるため、対向電極の存在が必須とならない。すなわち、対向電極を要せずに絶縁性基板などに対しても印字を行うことが可能となり、装置構成の自由度が増す。また、厚い絶縁体に対しても印字を行うことが可能となる。

[0028] ところが、上述のような微細ノズル化は、吐出量が微量となるほど急激に吐出応答性が悪くなり、高周波数駆動が困難となるといった問題がある。もちろん、この問題は、ノズル-基板間に印加するパルス電圧の上限電圧を大きくすることで、吐出応答性が上がり、高周波数駆動がある程度実現可能にはなるが、駆動電極に高電圧を印加するため高電圧ドライバが必要であり、微細ノズル化による本来のメリットであったはずのコストメリットの高い低電圧駆動ドライバを使用することが不可能となってしまう。

[0029] 吐出応答性をより詳細に見ると、パルス電圧の立ち上がり時の吐出開始応答性、及び立ち下り時の吐出終了応答性に分けられ、吐出応答性が低いことはつまり、上限電圧印加時間に依存する精度の高い吐出量制御が行えないといった問題でもある。

[0030] これに対し、上記構成では、電圧印加手段が、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に上限電圧が設定されたパルス電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加するにおいて、該パルス電圧の立ち上がり直前に、上限電圧と同極性でかつ上記吐出可能最低電圧よりも絶対値の小さい予備充電電圧が設定されているので、パルス電圧立ち上がり前に既にメニスカス表面電位がある程度予備充電された状態となっている。

[0031] したがって、パルス電圧の立ち上がり後、メニスカス表面電位は吐出条件である吐出可能最低電圧に短時間で到達して吐出が開始し、吐出開始応答性を高めることができ、ひいては、吐出限界周波数を向上させて高周波数駆動が可能となる。

- [0032] 本発明の他の静電吸引型流体吐出装置は、上記目的を達成するために、電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、上記ノズルの吐出孔直径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に上限電圧が設定されたパルス電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加する電圧印加手段を備え、該パルス電圧の立ち下がり直後に、上限電圧と逆極性の減衰促進電圧が設定されていることを特徴としている。
- [0033] 本発明の他の静電吸引型流体吐出方法は、上記目的を達成するために、電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出方法において、上記ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ とし、上記ノズルと上記基板との間に、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧を印加するにあたり、電圧の立ち下がり直後に、印加電圧とは逆極性の減衰促進電圧を印加することを特徴としている。
- [0034] 上記の構成においても、ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ の微細径とすることで、駆動電圧の低下が可能となり、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となると共に、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にする等の上記した本発明の静電吸引型流体吐出装置と同様の作用を奏する。
- [0035] そして、上記構成では、電圧印加手段が、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に上限電圧が設定されたパルス電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加するにおいて、該パルス電圧の立ち下がり直後に、上限電圧と逆極性の減衰促進電圧が設定されているので、パルス電圧立ち下がり後にメニスカス表面電位が急激に減衰する。
- [0036] したがって、パルス電圧の立ち下がり後、メニスカス表面電位は吐出を継続する条件である吐出維持可能最低電圧を短時間で下回って吐出が停止し、吐出終了応答性を高めることができ、ひいては、吐出限界周波数を向上させて高周波数駆動が可能となる。
- [0037] 本発明のその他の静電吸引型流体吐出装置は、上記目的を達成するために、電

圧印加により帯電された流体を吐出ヘッドに備えられたノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、上記ノズルの吐出孔直径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、上記ノズルと上記基板とを相対的に移動させながら、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加してライン描画を行うライン描画手段を備え、該ライン描画手段は、上記電圧及び上記流体の電気伝導度に応じて周波数が異なる間欠吐出現象の周期に合わせ、間欠吐出された吐出パターンの隣接するもの同士が一部重なり合うように上記相対移動の速度を制御することを特徴としている。

[0038] 本発明のその他の静電吸引型流体吐出方法は、上記目的を達成するために、電圧印加により帯電された流体を吐出ヘッドに備えられたノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出方法において、上記ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ とし、上記ノズルと上記基板とを相対的に移動させながら、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加してライン描画を行うにあたり、上記電圧及び上記流体の電気伝導度に応じて周波数が異なる間欠吐出現象の周期に合わせ、間欠吐出された吐出パターンの隣接するもの同士が一部重なり合うように上記相対移動の速度を制御することを特徴としている。

[0039] 上記の構成によれば、ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ の微細径とすることで、局所電界を用いた吐出モデルにしたがって、局所電界が発生し、微細ノズル化により吐出における駆動電圧の低下が可能となる。このような駆動電圧の低下は、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となる。もちろん、駆動電圧を低下させることで、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にする。

[0040] さらに、上記局所電界を用いた吐出モデルでは、吐出に必要な電界強度は、局所的な集中電界強度に依存することになるため、対向電極の存在が必須とならない。すなわち、対向電極を要せずに絶縁性基板などに対しても印字を行うことが可能となり、装置構成の自由度が増す。また、厚い絶縁体に対しても印字を行うことが可能となる。

- [0041] ところが、このような構成では、吐出応答性は基本的に、ノズル内部の電極とノズル先端部との間の流体(吐出材料)の電気抵抗に起因するため、流体の電気伝導度の大きさによって吐出応答性が大幅に変化し、ノズルと基板との相対速度、或いはノズル―基板間に印加する電圧によって、安定したライン描画が行えなくなるといった不具合がある。該不具合は、ノズル先端径を微細化することで、電気抵抗が上昇し吐出応答性が悪化することと、基板上に形成されるドットやラインの径や幅が超微細となることが原因で生じた問題であって、従来の吐出量では問題とはならなかった新たな問題である。
- [0042] これに対し、上記構成では、ライン描画手段が、ノズルと基板とを相対的に移動させながら、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧をノズルと基板との間に印加してライン描画を行うにおいて、電圧及び流体の電気伝導度に応じて周波数が異なる間欠吐出現象の周期に合わせて、間欠吐出された吐出パターンの隣接するもの同士が一部重なり合うように相対移動の速度を制御するので、途切れのない安定したライン描画が、線幅が太くなるなどの不具合を伴うことなく、超微細ラインが可能となる吐出可能最低電圧近傍に電圧を設定しながら、高速に実施することができる。
- [0043] 本発明のその他の静電吸引型流体吐出装置は、上記目的を達成するために、電圧印加により帯電された流体を吐出ヘッドに備えられたノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、上記ノズルの吐出孔直径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、上記ノズルと上記基板とを相対的に移動させながら、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加してライン描画を行うライン描画手段を備え、該ライン描画手段は、間欠吐出された吐出パターンであって、上記相対移動の速度にて決定される吐出パターンの隣接するもの同士が一部重なり合うように電圧を制御することを特徴としている。
- [0044] 本発明の他の静電吸引型流体吐出方法は、上記目的を達成するために、電圧印加により帯電された流体を吐出ヘッドに備えられたノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体

吐出方法において、上記ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ とし、上記ノズルと上記基板とを相対的に移動させながら、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加してライン描画を行うにあたり、間欠吐出された吐出パターンであって、上記相対移動の速度にて決定される吐出パターンの隣接するもの同士が一部重なり合うように上記電圧を制御することを特徴としている。

[0045] 上記の構成においても、ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ の微細径とすることで、駆動電圧の低下が可能となり、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となると共に、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にする等の上記した本発明の静電吸引型流体吐出装置と同様の作用を奏する。

[0046] そして、上記構成では、ライン描画手段が、ノズルと基板とを相対的に移動させながら、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧をノズルと基板との間に印加してライン描画を行うにおいて、相対移動の速度にて決定される間欠吐出された吐出パターンの隣接するもの同士が一部重なり合うように電圧を制御するので、間欠吐出周波数を高めて高速移動に対応することが可能となり、所望する高速にて途切れのない安定したライン描画が可能となる。

[0047] 本発明のその他の静電吸引型流体吐出装置は、上記目的を達成するために、ノズルと吐出先部材との間に駆動電圧印加手段から駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出装置において、前記ノズルの孔径は $\phi 1\mu\text{m}\sim \phi 5\mu\text{m}$ であり、前記駆動電圧印加手段は、前記流体の電気抵抗を R 、ノズル先端部の前記流体と前記吐出先部材との間の静電容量を C としたときに、 $130\text{V} < V_0 [1 - \exp(-t/RC)]$ を満たす電圧 V_0 および印加時間 t の条件にて前記駆動電圧を出力することを特徴としている。

[0048] 従来、静電吸引型流体吐出装置において、ノズル孔径の縮小は吐出に必要な電界強度の増加を招来するため、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化は両立し得ないと考えられていた。これに対し、本願発明では、ノズル孔径を $\phi 0.01\mu\text{m}\sim \phi 25\mu\text{m}$ の微細径とした場合に局所電界が発生し、吐出における駆動電圧の低下

が可能になるという新たな知見に基づき、ノズル孔径を上記範囲内とすることにより、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化の両立を実現している。

[0049] また、本願発明の構成では、ノズルの孔径をさらに $\phi 1 \mu\text{m} \sim \phi 5 \mu\text{m}$ の範囲に限定しているので、ノズル孔径の微細化による駆動電圧の低電圧化をさらに確実なものとしている。

[0050] また、 $130\text{V} < V_0 [1 - \exp(-t/RC)]$ を満たす電圧 V_0 および印加時間 t の条件にてノズルの駆動電圧を出力しているので、ノズル先端のメニスカス表面電位を確実に吐出可能電位以上に設定することができ、微細ドット形成における信頼性を向上することができる。

[0051] 本発明のさらにその他の静電吸引型流体吐出装置は、ノズルと吐出先部材との間に駆動電圧印加手段から駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出装置において、前記ノズル先端部と前記吐出先部材との間の距離を X とし、前記ノズルの孔径を $\phi 1 \mu\text{m} \sim \phi 5 \mu\text{m}$ とし、ノズルの孔径がこの範囲である場合の、ノズルから前記流体の吐出が開始される吐出開始電圧の最大値を V_H 、最小値を V_L とした場合に、

$$V_H = -0.001X^2 + 0.44X + 125$$

$$V_L = -0.0013X^2 + 0.69X + 160$$

であることを特徴としている。

[0052] 上記の構成によれば、前記静電吸引型流体吐出装置と同様、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化の両立を実現することができ、また、ノズル孔径をさらに $\phi 1 \mu\text{m} \sim \phi 5 \mu\text{m}$ の範囲に限定しているので、ノズル孔径の微細化による駆動電圧の低電圧化をさらに確実なものとすることができる。

[0053] さらに、ノズルからの流体の吐出開始電圧が、 $V_H = -0.001X^2 + 0.44X + 125$ 、 $V_L = -0.0013X^2 + 0.69X + 160$ で与えられる最大値 (V_H) と最小値 (V_L) との間に設定されるので、微細パターン形成の際のノズルからの流体の吐出において、安定かつ信頼性の高い動作が可能となる。

[0054] 本発明のさらに他の目的、特徴、および優れた点は、以下に示す記載によって十

分わかるであろう。また、本発明の利益は、添付図面を参照した次の説明で明白になるであろう。

図面の簡単な説明

- [0055] [図1(a)]本発明に係る実施の一形態の静電吸引型流体吐出装置における、ノズル基板間に印加されるパルス電圧の波形と、その際のメニスカス表面電位の推移とを示す波形図である。
- [図1(b)]その比較例のパルス電圧の波形と、その際のメニスカス表面電位の推移とを示す波形図である。
- [図2]本発明の基本となる局所電界を用いた吐出モデルにおいて、ノズルの電界強度の計算を説明するための図である。
- [図3]表面張力圧力および静電的圧力のノズル径依存性のモデル計算結果を示すグラフである。
- [図4]吐出圧力のノズル径依存性のモデル計算結果を示すグラフである。
- [図5]吐出限界電圧のノズル径依存性のモデル計算結果を示すグラフである。
- [図6]荷電液滴と基板の間に働く鏡像力とノズル基板間距離の相関を示したものである。
- [図7]ノズルから流出する流量と印加電圧との相関関係のモデル計算結果を示したものである。
- [図8]ノズル径と吐出応答性、吐出限界周波数の関係を説明するためのグラフである。
- [図9]本発明に係る実施の一形態である静電吸引型流体吐出装置の要部側面断面を含む説明図である。
- [図10(a)]ノズル基板間に印加するパルス電圧の波形と、その際のメニスカス表面電位の推移を示す波形図である。
- [図10(b)]ノズル基板間に印加するパルス電圧の波形と、その際のメニスカス表面電位の推移を示す波形図である。
- [図11]ノズル基板間に印加するパルス電圧の立ち上がり直前に印加する電圧値による吐出開始応答性確認実験の結果を示すグラフである。

[図12(a)]ノズルー基板間に印加するパルス電圧の波形と、その際のメニスカス表面電位の推移を示す波形図である。

[図12(b)]ノズルー基板間に印加するパルス電圧の波形と、その際のメニスカス表面電位の推移を示す波形図である。

[図13]ノズルー基板間に印加するパルス電圧の立ち下がり直後に印加する電圧値による吐出終了応答性確認実験の結果を示すグラフである。

[図14]ノズルー基板間に印加するパルス電圧の波形と、その際のメニスカス表面電位の推移を示す波形図である。

[図15(a)]図1に示す静電吸引型流体吐出装置における、ノズルー基板間に印加される直流電圧印加開始時の波形と、その際のメニスカス表面電位の推移とを示す波形図である。

[図15(b)]比較例の直流電圧印加開始時の波形と、その際のメニスカス表面電位の推移とを示す波形図である。

[図16(a)]図1に示す静電吸引型流体吐出装置における、ノズルー基板間に印加される直流電圧印加終了時の波形と、その際のメニスカス表面電位の推移とを示す波形図である。

[図16(b)]比較例の直流電圧印加終了時の波形と、その際のメニスカス表面電位の推移とを示す波形図である。

[図17]低速駆動と高速駆動での描画パターンの相違を示す説明図である。

[図18]本発明に係る他の実施の形態である静電吸引型流体吐出装置の要部側面断面を含む説明図である。

[図19]吐出ヘッドと基板ステージの相対速度の関係を示す説明図である。

[図20]ノズルー基板間に印加される直流の信号電圧の波形と間欠吐出周期の関係を示す説明図である。

[図21(a)]単一吐出パターンでライン描画を形成するための条件を示す説明図である。

。

[図21(b)]単一吐出パターンでライン描画を形成するための条件を示す説明図である。

。

[図21(c)]単一吐出パターンでライン描画を形成するための条件を示す説明図である。

[図22(a)]ノズルー基板間に印加される直流の信号電圧の波形と、間欠吐出周期の関係を示す説明図である。

[図22(b)]ノズルー基板間に印加される直流の信号電圧の波形と、間欠吐出周期の関係を示す説明図である。

[図23]ノズルー基板間に印加する直流の信号電圧の値と、間欠吐出周波数との関係を示す説明図である。

[図24]走査速度と、ライン描画可能最低電圧との関係を示すグラフである。

[図25(a)]本発明に係る実施の他の形態における静電吸引型流体吐出装置の概略構成図である。

[図25(b)]同静電吸引型流体吐出装置の等価回路である。

[図26]図25(a)に示した静電吸引型流体吐出装置における駆動電圧の印加時間と吐出開始電圧のとの関係を示すグラフである。

[図27(a)]図25(a)に示した静電吸引型流体吐出装置における、吐出開始電位に到達するまでのメニスカス表面電位の変化を示すものであって、印加電圧と印加時間が440Vと2400 μ secの場合を示すグラフである。

[図27(b)]印加電圧と印加時間が680Vと1200 μ secの場合を示すグラフである。

[図27(c)]印加電圧と印加時間が1600Vと400 μ secの場合を示すグラフである。

[図28]図25(a)に示した電源から出力される駆動電圧の一例を示す波形図である。

[図29]図25(a)に示した静電吸引型流体吐出装置におけるノズル径とノズルからの吐出材料の吐出開始電圧との関係を示すグラフである。

[図30]図25(a)に示した静電吸引型流体吐出装置における、ノズル径が異なる複数のノズルを使用した場合の吐出開始電圧とノズルー基板間距離との関係を示すグラフである。

[図31]図25(a)に示した静電吸引型流体吐出装置における、メニスカス表面電位ばらつきと駆動電極への印加電圧(駆動電圧)との関係を示すグラフである。

[図32]静電吸引型流体吐出装置における静電曳き糸現象による吐出流体の成長原理

を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

- [0056] 以下、実施例および比較例により、本発明をさらに詳細に説明するが、本発明はこれらにより何ら限定されるものではない。
- [0057] 以下に述べる本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置は、そのノズル径を $0.01\mu\text{m}$ 〜 $25\mu\text{m}$ としており、かつ、 1000V 以下の駆動電圧にて吐出流体の吐出制御を可能としている。
- [0058] 従来の流体吐出モデルにおいては、ノズル径の減少は駆動電圧の上昇に繋がるため、 $50\mu\text{m}$ 以下のノズル径では、吐出インクに背圧を与えるなどの他の工夫を行わない限り、 1000V 以下の駆動電圧でのインク吐出は不可能と考えられていた。しかしながら、あるノズル径以下では、従来の流体吐出モデルとは異なる吐出モデルでの吐出現象が起こることが突き止められた。本発明は、この局所電界を用いた流体吐出モデルにおける新たな知見に基づいてなされている。
- [0059] 先ずは、局所電界を用いた流体吐出モデルについて、図2〜図7を用いて説明する。
- [0060] 直径 d (以下の説明においては、特に断らない限りノズルの内径を指す)のノズルに導電性流体を注入し、無限平板導体から高さ h に垂直に位置させたと仮定する。この様子を図2に示す。このとき、ノズル先端部(ノズル孔)に誘起される電荷 Q は、ノズル先端部の流体によって形成される半球部に集中すると仮定し、以下の式で近似的に表される。
- [0061]
- $$Q = 2\pi\epsilon_0\alpha V_0 d \quad \dots (5)$$
- [0062] ここで、 Q :ノズル先端部に誘起される電荷(C)、 ϵ_0 :真空の誘電率(F/m)、 d :ノズルの直径(m)、 V_0 :ノズルに印加する総電圧である。また、 α は、ノズル形状などに依存する比例定数であり、 $1\sim 1.5$ 程度の値を取るが、特に $d \ll h$ (h :ノズル(正確にはノズル孔)−基板間距離(m))の時はほぼ1となる。
- [0063] また、基板として導電基板を用いた場合、ノズルと対向して基板内の対称位置に、上記電荷 Q と反対の極性を持つ鏡像電荷 Q' が誘導されると考えられる。基板が絶縁

体の場合は、誘電率によって定まる対称位置に同様に電荷 Q と逆極性の映像電荷 Q' が誘導される。

[0064] ノズル先端部における集中電界強度 E_{loc} は、先端部の曲率半径を R と仮定すると、

$$E_{loc} = \frac{V_0}{kR} \quad \dots (6)$$

[0065] で与えられる。ここで、 k は、ノズル形状などに依存する比例定数であり、1.5～8.5程度の値を取るが、多くの場合5程度と考えられる(P.J. Birdseye and D.A. Smith, Surface Science, 23(1970), p.198-210)。また、ここでは、流体吐出モデルを簡単にするため、 $R=d/2$ と仮定する。これは、ノズル先端部において表面張力によって流体がノズル径 d と同じ曲率半径を持つ半球形状に盛り上がっている状態に相当する。

[0066] ノズル先端部の流体に働く圧力のバランスを考える。まず、静電的な圧力 P_e は、ノズル先端部の液面積を S とすると、

$$P_e = \frac{Q}{S} E_{loc} = \frac{2Q}{\pi d^2} E_{loc} \quad \dots (7)$$

[0067] となる。(5)～(7)式より、圧力 P_e は、 $\alpha=1$ とにおいて、

$$P_e = \frac{4\epsilon_0 V_0}{d} \cdot \frac{2V_0}{kd} = \frac{8\epsilon_0 V_0^2}{kd^2} \quad \dots (8)$$

[0068] と表される。

[0069] 一方、ノズル先端部における流体の表面張力による圧力 P_s とすると、

$$P_s = \frac{4\gamma}{d} \quad \dots (9)$$

[0070] となる。ここで、 γ :表面張力である。静電的な力により吐出が起こる条件は、静電的な力が表面張力を上回ることなので、静電的な圧力 P_e と表面張力による圧力 P_s との関係は、

$$P_e > P_s \quad \dots (10)$$

[0071] となる。

[0072] 図3に、ある直径 d のノズルを与えた時の、表面張力による圧力 P_s と静電的な圧力 P_e との関係を示す。流体の表面張力としては、流体が水($\gamma = 72\text{mN/m}$)の場合を仮定している。ノズルに印加する電圧を 700V とした場合、ノズル直径 d が $25\mu\text{m}$ において静電的な圧力 P_e が表面張力による圧力 P_s を上回ることが示唆される。このことから、 V_0 と d との関係を求めると、

$$V_0 > \sqrt{\frac{\gamma kd}{2\epsilon_0}} \quad \dots (11)$$

[0073] が吐出の最低電圧を与える。

[0074] また、その時の吐出圧力 ΔP は、

$$\Delta P = P_e - P_s \quad \dots (12)$$

[0075] より、

$$\Delta P = \frac{8\epsilon_0 V_0^2}{kd^2} - \frac{4\gamma}{d} \quad \dots (13)$$

[0076] となる。

[0077] ある直径 d のノズルに対し、局所的な電界強度によって吐出条件を満たす場合の吐出圧力 ΔP の依存性を図4に、また、吐出臨界電圧(すなわち吐出の生じる最低電圧) V_c の依存性を図5に示す。

[0078] 図4から、局所的な電界強度によって吐出条件を満たす場合($V_0 = 700\text{V}$, $\gamma = 72\text{mN/m}$ と仮定した場合)のノズル径の上限が $25\mu\text{m}$ であることが分かる。

[0079] 図5の計算では、流体として水($\gamma = 72\text{mN/m}$)及び有機溶剤($\gamma = 20\text{mN/m}$)を想定し、 $k=5$ の条件を仮定した。この図より、微細ノズルによる電界の集中効果を考慮すると、吐出臨界電圧 V_c はノズル径の減少に伴い低下することが明らかであり、流体が水の場合においてノズル径が $25\mu\text{m}$ の場合、吐出臨界電圧 V_c は 700V 程度であることが分かる。

[0080] 従来の吐出モデルにおける電界の考え方、すなわちノズルに印加する電圧 V_0 とノ

ブルー対向電極間距離 h とによって定義される電界のみを考慮した場合では、ノズル径が微小になるに従い、吐出に必要な駆動電圧は増加する。

[0081] これに対し、局所電界を用いた吐出モデルのように、局所電界強度に注目すれば、微細ノズル化により吐出における駆動電圧の低下が可能となる。このような駆動電圧の低下は、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となる。もちろん、駆動電圧を低下させることで、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にする。

[0082] さらに、上記局所電界を用いた吐出モデルでは、吐出に必要な電界強度は、局所的な集中電界強度に依存することになるため、対向電極の存在が必須とならない。すなわち、従来の吐出モデルでは、ノズル—基板間に電界を印加するため、絶縁体の基板に対してはノズルと反対側に対向電極を配置するか、あるいは基板を導電性とする必要があった。そして、対向電極を配置する場合、すなわち基板が絶縁体の場合では、使用できる基板の厚さに限界があった。

[0083] これに対し、本発明が前提とする局所電界を用いた吐出モデルでは、対向電極を要せずに絶縁性基板などに対しても印字を行うことが可能となり、装置構成の自由度が増す。また、厚い絶縁体に対しても印字を行うことが可能となる。

[0084] また、ノズルから吐出される液体は帯電しているので、この液体と基板との間には鏡像力が働く。この鏡像力の大きさと基板からのノズルの距離 h との相関を図6に示す。図より明らかなように、この鏡像力は基板とノズル間の距離が近くなるほどに顕著になり、特に h が $20\mu\text{m}$ 以下で顕著である。

[0085] 次に、吐出流量の精密制御について考えて見る。円筒状の流路における流量 Q は、粘性流の場合、以下のハーゲン・ポアズイユの式によって表される。いま、円筒形のノズルを仮定し、このノズルを流れる流体の流量 Q は、次式で表される。

[0086]

$$Q = \frac{\pi \Delta P}{\eta L} d^4 \quad \dots (14)$$

[0087] ここで、 η : 流体の粘性係数($\text{Pa}\cdot\text{s}$)、 L : 流路すなわちノズルの長さ(m)、 d : 流路すなわちノズル孔の直径(m)、 ΔP : 圧力差(Pa)である。上式より、流量 Q は、流路の半径の4乗に比例するため、流量を制限するためには、微細なノズルの採用が効果

的である。この(14)式に、(13)式で求めた吐出圧力 ΔP を代入し、次式を得る。

[0088]

$$Q = \frac{4\pi d^3}{\eta L} \left(\frac{2\varepsilon_0 V_0^2}{kd} - \gamma \right) \quad \dots (15)$$

[0089] この式は、直径 d 、長さ L のノズルに電圧 V を印加した際に、ノズルから流出する流体の流出量を表している。この様子を、図7に示す。計算には $L=10\text{mm}$ 、 $\eta=1(\text{mPa}\cdot\text{s})$ 、 $\gamma=72(\text{mN}/\text{m})$ の値を用いた。いま、ノズルの直径を先行技術の最小値 $50\mu\text{m}$ と仮定する。電圧 V を徐々に印加していくと、電圧 $V=1000\text{V}$ で吐出が開始する。この電圧は、図5でも述べた吐出開始電圧に相当する。そのときのノズルからの流量がY軸に示されている。吐出開始電圧 V_c 直上で流量は急速に立ち上がっている。

[0090] このモデル計算上では、電圧を V_c より少し上で精密に制御することで微小流量が得られそうに思えるが、片対数で示される図からも予想されるように実際上それは不可能で、特に $10^{-10}\text{m}^3/\text{s}$ 以下、微小量の実現は困難である。また、ある径のノズルを採用した場合には、式(11)で与えられたように、最小駆動電圧が決まってしまう。このため、先行技術のように、直径 $50\mu\text{m}$ 以上のノズルを用いる限り、 $10^{-10}\text{m}^3/\text{s}$ 以下の微小吐出量や、 1000V 以下の駆動電圧にすることは困難である。

[0091] 図から分かるように、直径 $25\mu\text{m}$ のノズルの場合 700V 以下の駆動電圧で充分であり、直径 $10\mu\text{m}$ のノズルの場合 500V 以下でも制御可能である。また、直径 $1\mu\text{m}$ のノズルの場合 300V 以下でも良いことが分かる。

[0092] 以上の考察は、連続流を考えた場合であるが、単発流とするためには、スイッチングの必要性がある。次にそれに関して述べる。

[0093] 静電吸引による吐出は、ノズル端部における流体の帯電が基本である。帯電の速度は誘電緩和によって決まる時定数程度と考えられる。

[0094]

$$\tau = \frac{\varepsilon}{\sigma} \quad \dots (16)$$

[0095] ここで、 ε :流体の比誘電率、 σ :流体の導電率($\text{S}\cdot\text{m}$)である。流体の比誘電率を10、導電率を $10^{-6}\text{S}/\text{m}$ を仮定すると、 $\tau=1.854\times 10^{-5}\text{sec}$ となる。あるいは、臨

界周波数を f_c とすると、

$$f_c = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad \dots (17)$$

[0096] となる。この f_c よりも早い周波数の電界の変化に対しては、応答できず吐出は不可能になると考えられる。上記の例について見積もると、周波数としては10kHz程度となる。

[0097] 次に、ノズル壁面における表面張力の低下について考える。電極の上に絶縁体を配置し、その上に滴下した流体と電極の間に電圧を印加すると流体と絶縁体の接触面積が増す、すなわち濡れ性がよくなることが見いだされ、エレクトロウェッティング(Electrowetting)現象と呼ばれている。この効果は、円筒形のキャピラリー形状においても成り立ち、エレクトロキャピラリー(Electrocapillary)と呼ばれることもある。エレクトロウェッティング効果による圧力と、印加電圧、キャピラリーの形状、溶液の物性値との間に以下の関係がある。

[0098]

$$P_{ec} = \frac{2\epsilon_0\epsilon_r}{t} \frac{V_0^2}{d} \quad \dots (18)$$

[0099] ここで、 ϵ_0 :真空の誘電率、 ϵ_r :絶縁体の誘電率、 t :絶縁体の厚さ、 d :キャピラリーの内径である。流体として、水を考えてこの値を計算してみると、上述の日本国特許公報「特公昭36-13768号公報(公告日昭和36年8月18日)」の実施例の場合を計算してみると、高々30000Pa(0.3気圧)にすぎないが、本発明の場合、ノズルの外側に電極を設けることにより30気圧相当の効果が得られることがわかった。これにより、微細ノズルを用いた場合でもノズル先端部への流体の供給は、この効果により速やかに行われる。この効果は、絶縁体の誘電率が高いほど、またその厚さが薄いほど顕著になる。エレクトロキャピラリー効果を得るためには、厳密には絶縁体を介して電極を設置する必要があるが、十分な絶縁体に十分な電場がかかる場合、同様の効果が得られる。

[0100] 以上の議論において、注意すべき点は、これらの近似理論は従来のように電界強度として、ノズルに印加する電圧 V_0 と、ノズル-対向電極間の距離 h で決まる電界で

はなく、ノズル先端における局所的な集中電界強度に基づいている点である。また、本発明において重要なのは、局所的な強電界と、流体を供給する流路が非常に小さなコンダクタンスを持つことである。そして、流体自身が微小面積において十分に帯電することであり、帯電した微小流体は、基板などの誘電体、または導体を近づけると、鏡像力が働き基板に対し直角に飛翔することとなる。このために、実施例ではノズルは作成の容易さからガラスキャピラリーを使っているが、これに限定されるものではない。

[0101] [実施の形態1]

ところで、局所電界を用いた流体吐出モデルによる静電吸引型流体吐出では、上述したように、ノズル径と駆動電圧とを共に小さくすることが可能であるが、この場合でも、流体を単発流で吐出するには、流体を充填したノズルと、ノズル先端部に対向して配置された基板との間にパルス電圧を印加し、その電気力によって液体をノズル先端から基板側に吸引し、液滴を基板上に形成する方法が採られる。

[0102] この方法によれば、ノズルー基板間に印加するパルス電圧の上限電圧(上限値)を大きくすると、ノズルより吐出される流体量が多くなり、反対にパルス電圧の上限電圧を小さくすると、ノズルより吐出される流体量が小さくなる。つまり、パルス電圧の上限値を制御することで吐出量を制御することができる。

[0103] しかしながら、このモデルの場合、基本的に吐出応答性はノズル内部の電極とノズル先端部との間の流体の電気抵抗 R と、ノズル先端部のメニスカスと基板との間の静電容量 C の積である時定数 RC で決定する。そして、電気抵抗 R と静電容量 C の要素パラメータにはノズル径(直径) d が含まれており、吐出応答性はこのノズル径 d によって変化する。

[0104] 図8は、銀ナノペーストの吐出応答性を示すグラフである。このように、ノズル径が小さくなるにつれて時定数 RC が極端に大きくなため、吐出応答性が悪くなり、吐出可能な限界周波数も小さくなる。

[0105] つまり、局所電界を用いた流体吐出モデルによる静電吸引型流体吐出では、吐出量が微量となるほど急激に吐出応答性が悪くなり、高周波数駆動が困難となるといった新たな解決課題を有している。もちろん、ノズルー基板間に印加するパルス電圧の

上限電圧を大きくすることで、吐出応答性が上がり、高周波数駆動がある程度実現可能にはなるが、駆動電極に高電圧を印加するため高電圧ドライバが必要であり、局所電界を用いた流体吐出モデルによる静電吸引型流体吐出の本来のメリットであったはずのコストメリットの高い低電圧駆動ドライバを使用することが不可能となってしまう。

- [0106] 吐出応答性をより詳細に見ると、パルス電圧の立ち上がり時の吐出開始応答性、及び立ち下り時の吐出終了応答性に分けられ、吐出応答性が低いことはつまり、上限電圧印加時間に依存する精度の高い吐出量制御が行えないといった問題でもある。
- [0107] また、このような電圧の立ち上がり及び立ち下り時の応答性の問題は、何もパルス電圧に限るものではなく、基板上にライン描画を行うにあたって印加される直流電圧印加時にも生じる。つまり、直流電圧印加開始時の吐出開始応答性に起因して、直流電圧印加開始タイミングに依存させた精度の高い吐出開始位置制御が行えない。同様に、直流電圧印加終了時の吐出終了応答性に起因して、直流電圧印加終了タイミングに依存させた精度の高い吐出終了位置制御が行えない。
- [0108] ここで述べた問題はどれも、局所電界を用いた流体吐出モデルによる静電吸引型流体吐出が、従来にない微量の流体吐出が可能となり、基板上に形成されるドットの径やピッチ、ライン描画であれば線幅、ピッチ、線長が微細となったが故に生じた、新たな問題である。
- [0109] 本実施の形態に係る静電吸引型流体吐出装置は、ノズルと基板との間の印加電圧波形を工夫することで、コストメリットの高い低電圧ドライバの使用を実現し、かつ、高周波数駆動可能で上限電圧印加時間に依存する精度の高い吐出量制御を可能とする、或いはかつ、直流電圧印加開始・終了タイミングに依存する精度の高い吐出位置制御を可能とするものである。このような静電吸引型流体吐出装置の構成について、以下に具体的に説明する。
- [0110] 図9は、本実施の形態である静電吸引型流体吐出装置の側面断面図を示したものである。図中1は、先端に超微細径のノズル孔(吐出孔)が形成された超微細径のノズルである。超微細量の流体吐出を実現するためには、低コンダクタンスの流路をノズル1近傍に設けるか、またはノズル1自身を低コンダクタンスのものにする必要が

ある。このためには、ガラス製キャピラリーが好適であるが、導電性物質に絶縁材でコーティングしたものでも可能である。

- [0111] ノズル1をガラス製とする理由は、容易に数 μm 程度のノズル孔を形成できること、ノズル孔の閉塞時にはノズル端を破砕することにより新しいノズル端を再生できること、ガラスノズルの場合、テーパ角がついているために、不要な溶液が表面張力によって上方(ノズル孔が下端に位置するようにノズル1を配置した場合におけるノズル孔側とは反対側)へと移動し、ノズル端に滞留せず、ノズル詰まりの原因にならないこと、およびノズル1が適度な柔軟性を持つため、可動ノズルの形成が容易であること等による。
- [0112] 具体的には、芯入りガラス管(商品名:株式会社ナリシゲ製GD-1)を用い、キャピラリーブラーにより作成することができる。芯入りガラス管を用いた場合には次のような利点がある。
- [0113] (1) 芯側ガラスがインクに対し濡れやすいために、インクの充填が容易になる。(2) 芯側ガラスが親水性で、外側ガラスが疎水的であるためにノズル端部において、インクの存在領域が芯側のガラスの内径程度に限られ、電界の集中効果がより顕著となる。(3) 微細ノズル化が可能となる。(4) 十分な機械的強度が得られる。
- [0114] ノズル孔の直径(以下、ノズル直径)の下限值は、制作上の都合から $0.01\mu\text{m}$ が好ましく、また、ノズル直径の上限値は、図3に示した静電的な力が表面張力を上回る時のノズル直径の上限が $25\mu\text{m}$ であること、および、図4に示した局所的な電界強度によって吐出条件を満たす場合のノズル直径の上限が $25\mu\text{m}$ であることから $25\mu\text{m}$ が好ましく、 $15\mu\text{m}$ がより好ましい。特に、局所的な電界集中効果をより効果的に利用するには、ノズル直径は $0.01\sim 8\mu\text{m}$ の範囲が望ましい。
- [0115] また、ノズル1は、キャピラリーチューブに限らず、微細加工により形成される2次元パターンノズルでもかまわない。ノズル1を成形性の良いガラスとした場合、ノズル1を電極として利用することはできないから、ノズル1内には、金属線(例えばタングステン線)を後述する電極2として挿入する。なお、ノズル1内にメッキにて電極2を形成しても良い。また、ノズル1自体を導電性物質で形成した場合には、その上に絶縁材をコーティングする。

- [0116] ノズル1内部には、図示しない流体供給源から供給路8を介して吐出すべき吐出材料(流体)3が供給され充填されると共に、電極2がこの吐出材料3に浸されるように配置されている。ノズル1は、シールドゴム4およびノズルクランプ5によりホルダー6に取り付けられている。
- [0117] なお、本発明によれば、ノズル先端部に於ける電界の集中効果と、対向基板に誘起される鏡像力の作用とで、先行技術のように基板を導電性にしたり、基板の背面側に対向電極を設けたりする必要はなく、基板として絶縁性のガラス基板、ポリイミドなどのプラスチック基板、セラミックス基板、半導体基板などを用いることが可能である。
- [0118] しかしながら、本実施の形態では、ノズル1のノズル孔の対向面側に、所定の距離離れた位置に、ノズル1のノズル孔から吐出した吐出材料3を基板13の表面により安定して着弾させることを目的に対向電極14が配設され、この対向電極14とノズル1との間に基板13が配置されるようになっている。
- [0119] 上記電極2と対向電極14とは、電圧印加部9に接続されている。この電圧印加部9は、電極2に印加する電圧と対向電極14に印加される電圧の少なくとも一方を制御して、ノズル1先端部と基板13との間に、単発流吐出であればパルス電圧を印加し、連続流吐出であれば直流電圧を印加するようになっている。ノズル1先端部と基板13との間に印加する電圧の極性はプラスでもマイナスでも良い。
- [0120] ここでまず、上記電圧印加部9による電圧印加を説明する前に、ノズル1と基板13との間に種々の電圧を印加して、吐出応答性を調べて結果を示す。
- [0121] まずは、ノズル1と基板13との間に、図10(a)、図10(b)に示すパルス電圧を印加した。
- [0122] 図10(a)、図10(b)の各パルス電圧は、上限電圧10が共に吐出可能最低電圧30以上の同じ電圧に設定されると共に、上限電圧10の印加期間及び周期は同じである。両者の違いは、下限電圧20にあり、図10(b)は、下限電圧20が0Vに設定され、図10(a)は、下限電圧20が0Vより高く、吐出可能最低電圧30未満の電圧に設定されている。
- [0123] 上記吐出可能最低電圧30とは、直流バイアスで流体吐出させた場合に、吐出が可能な最低電圧条件を意味しており、ノズル1先端部(ノズル孔)の流体で形成されるメ

メニスカスの表面電位が吐出可能最低電圧30に達した時点で吐出が開始される。例えば、ノズル先端径が $2\mu\text{m}$ の場合、吐出可能最低電圧30は約150Vである。

[0124] なお、本実施の形態では、上限電圧10が+極性である場合を例示するが、上述したように、上限電圧10は-極性であってもよい。したがって、説明に用いる電圧値の高低は、0Vラインを基準にしてその絶対値が大小に相当する。

[0125] このような波形の各パルス電圧を印加した場合における、ノズル1先端部のメニスカスの表面電位の変化と吐出との関係を見ると、図10(b)に示すパルス電圧では、下限電圧20が0Vであるため、パルス電圧を印加した直後に吐出材料3に通電が開始され、ノズル1先端部のメニスカ스에電荷が蓄積し始め、メニスカス表面電位(図中、破線にて示す)40が上昇する。メニスカス表面電位40の上昇カーブは、上限電圧10や吐出材料3の電気伝導度、ノズル1内部の流路抵抗により異なるが、基本的に飽和曲線を描く。そして、メニスカス表面電位40が吐出可能最低電圧(図中、点線にて示す)30に達した時点で吐出は開始されるが、図10(b)の場合、上限電圧印加時間内でメニスカス表面電位40が吐出可能最低電圧30には達せず、吐出は開始されない。上限電圧10の立ち下がり後は、下限電圧20との電位差に応じたメニスカス上での蓄積電荷の放出が始まり、メニスカス表面電位40は減衰する。つまり、比較例では、流体吐出することなく、パルス電圧の周期に合わせてメニスカス表面電位40の上昇、減衰が繰り返される。

[0126] 一方、図10(a)に示すパルス電圧では、下限電圧20が0Vよりも高く設定されているため、上限電圧10印加前に予めメニスカス上に電荷が蓄積され、メニスカス表面電位40は、ほぼ下限電圧20と同様の値になっている。そして、上限電圧10の印加(立ち上がり)とともに、下限電圧20と同様の値から、メニスカス表面電位40の上昇が始まり、上限値印加時間内に吐出可能最低電圧30に達する。メニスカス表面電位40が吐出可能最低電圧30に達した時点で流体吐出が開始し、上限電圧10の立ち下がり後は、メニスカス表面電位40の減衰と共に吐出は終了する。

[0127] このように、予め下限電圧20として上限電圧10と同じ極性の同極性バイアスを印加することにより、下限電圧20が0Vでは流体を吐出させることができなかった上限電圧10の印加時間内で、メニスカス表面電位40を吐出可能最低電圧30にまで到達させ

て流体を吐出させることができ、パルス電圧の周期(上限電圧の周期)に合わせた流体吐出が可能となる。

- [0128] 上限電圧10立ち上がり後の流体吐出が開始されるまでの時間が短いほど、吐出開始応答性は高いので、吐出開始応答性のみを考えた場合、下限電圧20の設定範囲は、上限電圧10と同極性で、吐出可能最低電圧30よりも低い範囲で、より好ましくは、該範囲内でより高い、つまり、吐出可能最低電圧30に近いことである。
- [0129] 図11に、ハリマ化成(株)製の銀ナノペーストを流体とした吐出開始応答性確認実験の結果を示す(ノズル直径 $12\mu\text{m}$)。銀ナノペーストの電気伝導度に適合させて吐出特性を確認するため、パルス電圧の上限電圧10を $+450\text{V}$ 、上限電圧10の印加時間を $2000\mu\text{sec}$ と設定している。この場合の吐出可能最低電圧30は $+200\text{V}$ であった。
- [0130] 図11に示すように、パルス電圧の下限電圧20を 0V から $+150\text{V}$ まで増加させると、上限電圧10を印加してから吐出が開始するまでの時間が徐々に短くなり、下限電圧20による吐出応答性向上の効果を確認することができた。
- [0131] このことから、下限電圧20を、上限電圧10と同極性で、吐出可能最低電圧30より小さい範囲内で設定することで吐出開始応答性を高めることができ、ひいては、駆動周波数を向上させ得ることがわかる。
- [0132] 次に、ノズル1と基板13との間に、図12(a)、図12(b)に示すパルス電圧を印加した。
- [0133] 図12(a)、図12(b)の各パルス電圧は、上限電圧10と共に吐出可能最低電圧30以上の同じ電圧に設定されると共に、上限電圧10の印加期間及び周期は同じである。両者の違いは、下限電圧20にあり、図12(b)では、下限電圧20が上限電圧10と同極性に設定され、図12(a)では、下限電圧20が上限電圧10とは逆極性に設定されている。
- [0134] このような波形の各パルス電圧を印加した場合における、ノズル1先端部のメニスカスの表面電位40変化と吐出との関係を見ると、図12(b)に示す比較例では、下限電圧20が上限電圧10と同極性であるため、上限電圧10立ち下げ後のメニスカス表面電位40と下限電圧20との間の電位差が小さく、上限電圧10立ち下げ後のメニスカ

ス表面電位40の減衰速度が遅い。そのため、上限電圧10立ち下げ後もメニスカス表面電位40が吐出維持可能最低電圧(図中、点線にて示す)50に達するまでに時間がかかり、吐出が比較的続くこととなる。図12(b)は、その最たるものであり、下限電圧20が非常に高いため、下限電圧20の印加時間内にメニスカス表面電位40が吐出維持可能最低電圧50を下回ることができず、吐出はパルス信号周期(上限電圧印加周期)に合わせて切れることなく断続的に行われる。

- [0135] 一方、図12(a)に示す本実施の形態のパルス電圧では、下限電圧20が上限電圧10と逆極性に設定されているため、上限電圧立ち下げ後のメニスカス表面電位40と下限電圧20との間の電位差が大きく、メニスカス表面電位40の減衰速度も速くなる。そのため、メニスカス表面電位40が減衰によって吐出維持可能最低電圧50を下回る時期を早くすることができ、吐出の切れの良さ、つまり、吐出終了応答性を良くすることが可能である。
- [0136] このように、下限電圧20を上限電圧10の逆極性とし、上限電圧10の立ち下がり後に逆極性バイアスを印加することにより、上限電圧10の立ち下がり後の吐出終了を早くすることができ、吐出終了応答性を良くすることが可能である。吐出終了応答性を高めることで、吐出限界周波数を向上させることができる。
- [0137] 上限電圧10立ち下がり後の流体吐出が完了するまでの時間が短いほど、吐出終了応答性は高いので、吐出終了応答性のみを考えた場合、下限電圧20の設定範囲は、上限電圧10と逆極性でその絶対値は大きいほどよい。しかしながら、絶対値が吐出可能最低電圧30の絶対値よりも大きくなると、上限電圧10と下限電圧20との印加時間の割合(デューティ比)との兼ね合いもあるが、メニスカス表面電位40が逆極性となる恐れがあるので、吐出可能最低電圧30の絶対値以内としておくことが望ましい。
- [0138] 図13に、ハリマ化成(株)製の銀ナノペーストを流体とした吐出終了応答性確認実験の結果を示す(ノズル直径 $12\mu\text{m}$)。銀ナノペーストの電気伝導度に適合させて吐出特性を確認するため、パルス電圧の上限電圧10を $+450\text{V}$ 、上限電圧10の印加時間を $3000\mu\text{sec}$ と設定している。この場合、吐出可能最低電圧30は $+200\text{V}$ であった。

- [0139] 図13に示すように、パルス電圧の下限電圧20を0Vから-200Vまで増加させると、上限電圧10の立ち下がりから吐出が終了するまでの時間が徐々に短くなり、下限電圧20を上限電圧10の逆極性とすることによる吐出終了応答性向上の効果を確認することができた。
- [0140] このことから、下限電圧20を、上限電圧10と逆極性に設定することで吐出終了応答性を高めることができ、ひいては、駆動周波数を向上させ得ることがわかる。
- [0141] このようなパルス電圧の下限電圧20の工夫による、吐出開始応答性及び吐出終了応答性の向上効果を鑑みて、本静電吸引型流体吐出装置の電圧印加部9は、以下のような電圧をノズル1と基板13との間に印加する構成となっている。
- [0142] 図1(a)に、単発流吐出の場合に、上記電圧印加部9がノズル1と基板13との間に印加するパルス電圧の波形を示す。また、図1(b)に、比較例のパルス電圧波形を示す。
- [0143] 本実施の形態のパルス電圧と、比較例のパルス電圧とは、上限電圧10が共に吐出可能最低電圧30以上の同じ電圧に設定されると共に、上限電圧10の印加期間及び周期は同じである。両者の違いは下限電圧20にあり、比較例では下限電圧20は0Vに設定されている。これに対し、本実施の形態では、下限電圧20は2段階に分けて設定されており、吐出開始応答性を良好とすべく、上限電圧10の立ち上がり直前に、上限電圧10と極性が同じで吐出可能最低電圧30未満の下限第1電圧(予備充電電圧)20aが設定され、吐出終了応答性を良好とすべく、上限電圧10の立ち下り直後に、上限電圧10の逆極性の下限第2電圧(減衰促進電圧)20bが設定されている。
- [0144] このような波形の各パルス電圧を印加した場合における、ノズル1先端部のメニスカスの表面電位40変化と吐出との関係を見ると、図1(b)に示す比較例では、下限電圧20が0Vであるため、パルス電圧を印加した直後に吐出材料3に通電が開始され、ノズル1先端部のメニスカ스에電荷が蓄積し始め、メニスカス表面電位40が上昇する。そして、メニスカス表面電位40が吐出可能最低電圧30に達した時点で吐出が開始され、上限電圧10の立ち下がり後は、メニスカス表面電位40の減衰と共に、吐出維持可能最低電圧50を超えると吐出が終了する。

- [0145] 一方、図1(a)に示す本実施の形態のパルス電圧では、まず上限電圧10の立ち上がり直前に、吐出可能最低電圧30に満たない程度に下限第1電圧20aが設定されているため、下限第1電圧20aに応じた分だけメニスカス表面に電荷が蓄積され、メニスカス表面電位40は下限第1電圧20aとほぼ同電位となる。そしてさらに、吐出可能最低電圧30以上の上限電圧10を印加すると、メニスカス表面電位40は直ちに吐出可能最低電圧30に到達し、吐出が開始される。吐出終了時に関しては、上限電圧10の立ち下がり直後に、上限電圧10と逆極性の下限第2電圧20bが設定されているため、上限電圧10たち下げ後のメニスカス表面電位40の減衰速度が速く、メニスカス表面電位40は、直ちに吐出維持可能最低電圧50を下回り、吐出が終了する。
- [0146] このような構成とすることで、上限電圧10の立ち上がりと立ち下がりの両方で吐出応答性を向上することができ、吐出限界周波数を向上することができる。また、立ち上がりと立ち下がりの両方の応答性を向上させることで、上限電圧印加時間に依存した吐出制御を行うことができ、吐出量の時間制御を可能にする。
- [0147] 図14に、単発流吐出の場合に、上記電圧印加部9がノズル1と基板13との間に印加する変形例のパルス電圧の波形を示す。図14に示すパルス電圧と図1(a)のパルス電圧との違いは、上限電圧10の立ち下がり直後の下限第2電圧20bにあり、ここでは下限第2電圧20bが、下限第1電圧20aよりも小さい、上限電圧10の同極性電圧となっている。但し、下限第2電圧20bとしては、同極性であれば、0Vに近づけるほど吐出終了応答性は良好となる。また、下限第2電圧20bを0ボルトとしたパルス電圧であってもよい。このようにすることで、下限第2電圧20bが逆極性のものに比べて、吐出終了応答性を良好にする効果は劣るが、不吐出時間をできるだけ短縮した単発流吐出が可能となり、近接ドットの形成に対して有効である。また、パルス電圧の上限電圧及び下限電圧の電位差が小さくなるため、低電圧駆動ドライバの使用が可能となる。
- [0148] 図15(a)に、連続流吐出の場合に、上記電圧印加部9がノズル1と基板13との間に印加する直流電圧立ち上がりの波形を示す。また、図15(b)に、比較例の直流電圧立ち上がりの波形を示す。

- [0149] 図15(a)では、直流電圧15の立ち上がり直前に、直流電圧15と同極性で、かつ吐出可能最低電圧30未満のバイアス電圧(予備充電電圧)25が印加されている。これに対し、比較例の図15(b)ではバイアス電圧25は印加されておらず、0Vからの立ち上がりとなっている。
- [0150] 図15(b)では、直流電圧の立ち上がり直前のバイアス電圧25が印加されていないため、メニスカス表面電位40は、直流電圧15の立ち上がり後に0ボルトから上昇が開始する。そのため、メニスカス表面電位40が吐出可能最低電圧30に到達して吐出が開始するまでの時間が長く、直流電圧15印加開始と同時に吐出を開始することができない。
- [0151] 一方、図15(a)では、直流電圧15の立ち上がり直前にバイアス電圧25が設定されているため、予めメニスカス表面電位40がバイアス電圧25とほぼ同電位になるまで上昇している。したがって、直流電圧15を印加すると、メニスカス表面電位40が吐出可能最低電圧30に到達するまでの時間が短く、直流電圧15印加とほぼ同時に吐出を開始することが可能である。また、この吐出開始応答性に関しては、吐出可能最低電圧30未満の範囲内で立ち上がり直前のバイアス電圧25が大きい、つまり吐出可能最低電圧30に近いほど良好である。
- [0152] 図16(a)に、連続流吐出の場合に、上記電圧印加部9がノズル1と基板13との間に印加する直流電圧立ち下りの波形を示す。また、図16(b)に、比較例の直流電圧立ち下りの波形を示す。
- [0153] 図16(a)では、直流電圧15の立ち下り直後に、直流電圧15と逆極性のバイアス電圧(減衰促進電圧)26が印加されている。これに対し、比較例の図16(b)ではバイアス電圧26は印加されておらず、0Vへの立ち下りとなっている。
- [0154] 図16(b)では、直流電圧の立ち下り直後にバイアス電圧26が印加されておらず0Vへの立ち下りであるため、メニスカス表面電位40は直流電圧立ち下りに、緩やかな減衰カーブを描く。そのため、メニスカス表面電位40が吐出維持可能最低電圧50を下回り、吐出が終了するまでの時間が長く、直流電圧印加終了と同時に吐出を終了することができない。
- [0155] 一方、図16(a)では、直流電圧15の立ち下り直後に逆極性のバイアス電圧26が

設定されているので、直流電圧15の立ち下がり後のメニスカス表面電位40との間の電位差は図16(b)よりも大きく、メニスカス表面電位40は直流電圧15の立ち下がり後に、急峻な減衰カーブを描く。そのため、メニスカス表面電位40が吐出維持可能最低電圧50を下回り、吐出が終了するまでの時間は短く、直流バイアス印加終了とほぼ同時に吐出を終了することが可能である。また、この吐出終了応答性に関しては、立ち下がり直後のバイアス電圧26は、直流電圧15と逆極性で、その絶対値が大きいほど良好である。しかしながら、吐出可能最低電圧30の絶対値を超えて大きいと、バイアス電圧26の印加時間にもよるが、逆極性側でメニスカス表面電位40が吐出可能最低電圧30より大きくなり、逆極性に帯電した流体が吐出される恐れがあるため、吐出可能最低電圧30の絶対値よりも小さくしておくことが好ましい。

[0156] このような構成とすることで、直流電圧15の立ち上がりと立ち下がりの両方で吐出応答性、つまり、吐出開始応答性、吐出終了応答性を良くすることが可能であり、直流電圧15でライン描画を行う際に、その吐出開始位置と吐出終了位置の精度を向上することが可能である。

[0157] なお、本実施の形態においては、対向電極14を備えた構成としているが、上述したように、本発明の静電吸引型流体吐出では、対向電極14を具備することは必須ではないので、図1(a)に示したパルス電圧を、ノズル1内部の電極2に印加する電圧のみで発生させる構成も可能である。また、対向電極14が接地され、電圧印加部9がノズル1内部の電極2に印加する電圧のみを制御して、図1(a)に示したパルス電圧を発生させる構成も可能である。

[0158] また、本実施の形態では、ノズル1先端部と基板13との間に印加されるパルス電圧の波形として、図1、図10、図12、図14～図16に示したような矩形波を例示したが、正弦波のようなスルーレートの低い波形に対しても同様に適用される。

[0159] なお、本実施の形態では、最良の実施の形態として、吐出開始応答性、吐出終了応答性が共に良好となるものを説明したが、図10～図13を用いた説明よりわかるように、吐出開始応答性と、吐出終了応答性とは、各々独立したものである。

[0160] 本発明の静電吸引型流体吐出装置は、以上のように、電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置さ

れた基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、上記ノズルの吐出孔直径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に上限電圧が設定されたパルス電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加する電圧印加手段を備え、該パルス電圧の立ち上がり直前に、上限電圧と同極性でかつ上記吐出可能最低電圧よりも絶対値の小さい予備充電電圧が設定されていることを特徴としている。

- [0161] 上記の構成によれば、ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ の微細径とすることで、局所電界を用いた吐出モデルにしたがって、局所電界が発生し、微細ノズル化により吐出における駆動電圧の低下が可能となる。このような駆動電圧の低下は、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となる。もちろん、駆動電圧を低下させることで、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にする。
- [0162] さらに、上記局所電界を用いた吐出モデルでは、吐出に必要な電界強度は、局所的な集中電界強度に依存することになるため、対向電極の存在が必須とならない。すなわち、対向電極を要せずに絶縁性基板などに対しても印字を行うことが可能となり、装置構成の自由度が増す。また、厚い絶縁体に対しても印字を行うことが可能となる。
- [0163] ところが、上述のような微細ノズル化は、吐出量が微量となるほど急激に吐出応答性が悪くなり、高周波数駆動が困難となるといった問題がある。もちろん、この問題は、ノズルー基板間に印加するパルス電圧の上限電圧を大きくすることで、吐出応答性が上がり、高周波数駆動がある程度実現可能にはなるが、駆動電極に高電圧を印加するため高電圧ドライバが必要であり、微細ノズル化による本来のメリットであったはずのコストメリットの高い低電圧駆動ドライバを使用することが不可能となってしまう。
- [0164] 吐出応答性をより詳細に見ると、パルス電圧の立ち上がり時の吐出開始応答性、及び立ち下り時の吐出終了応答性に分けられ、吐出応答性が低いことはつまり、上限電圧印加時間に依存する精度の高い吐出量制御が行えないといった問題でもある。
- [0165] これに対し、上記構成では、電圧印加手段が、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に上限電圧が設定されたパルス電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加するにおいて、該パルス電圧の立ち上がり直前に、上限電圧

と同極性でかつ上記吐出可能最低電圧よりも絶対値の小さい予備充電電圧が設定されているので、パルス電圧立ち上がり前に既にメニスカス表面電位がある程度予備充電された状態となっている。

[0166] したがって、パルス電圧の立ち上がり後、メニスカス表面電位は吐出条件である吐出可能最低電圧に短時間で到達して吐出が開始し、吐出開始応答性を高めることができ、ひいては、吐出限界周波数を向上させて高周波数駆動が可能となる。

[0167] 本発明の他の静電吸引型流体吐出装置は、上記目的を達成するために、電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、上記ノズルの吐出孔直径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に上限電圧が設定されたパルス電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加する電圧印加手段を備え、該パルス電圧の立ち下がり直後に、上限電圧と逆極性の減衰促進電圧が設定されていることを特徴としている。

[0168] 上記の構成においても、ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ の微細径とすることで、駆動電圧の低下が可能となり、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となると共に、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にする等の上記した本発明の静電吸引型流体吐出装置と同様の作用を奏する。

[0169] そして、上記構成では、電圧印加手段が、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に上限電圧が設定されたパルス電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加するにおいて、該パルス電圧の立ち下がり直後に、上限電圧と逆極性の減衰促進電圧が設定されているので、パルス電圧立ち下がり後にメニスカス表面電位が急激に減衰する。

[0170] したがって、パルス電圧の立ち下がり後、メニスカス表面電位は吐出を継続する条件である吐出維持可能最低電圧を短時間で下回って吐出が停止し、吐出終了応答性を高めることができ、ひいては、吐出限界周波数を向上させて高周波数駆動が可能となる。

[0171] 本発明のさらに他の静電吸引型流体吐出装置は、以上のように、電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに

対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流吐出装置において、上記ノズルの吐出孔直径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に上限電圧が設定されたパルス電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加する電圧印加手段を備え、該パルス電圧の立ち上がり直前に、上限電圧と同極性でかつ上記吐出可能最低電圧よりも絶対値の小さい予備充電電圧が設定されると共に、パルス電圧の立ち下がり直後に、上限電圧と逆極性の減衰促進電圧が設定されていることを特徴としている。

[0172] 上記の構成においても、ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ の微細径とすることで、駆動電圧の低下が可能となり、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となると共に、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にする等の上記した本発明の静電吸引型流体吐出装置と同様の作用を奏する。

[0173] そして、上記構成では、電圧印加手段が、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に上限電圧が設定されたパルス電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加するにおいて、該パルス電圧の立ち上がり直前に、上限電圧と同極性でかつ上記吐出可能最低電圧よりも絶対値の小さい予備充電電圧が設定されると共に、パルス電圧の立ち下がり直後に、上限電圧と逆極性の減衰促進電圧が設定されている。

[0174] したがって、上述したように、吐出開始応答性と吐出終了応答性を共に高めることができ、ひいては、より効果的に吐出限界周波数を向上させてさらなる高周波数駆動が可能となり、また、上限電圧印加時間に依存した吐出制御を行うことができるので、吐出量の時間制御も可能となる。

[0175] 本発明のさらに他の静電吸引型流体吐出装置は、以上のように、電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、上記ノズルの吐出孔直径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に上限電圧が設定されたパルス電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加する電圧印加手段を備え、該パルス電圧の立ち上がり直前に、上限電圧と同極性でかつ上記吐出可能最低電圧よりも絶対値の小さい予備充電電

圧が設定されると共に、パルス電圧の立ち下がり直後に、上限電圧と同極性で減衰促進電圧減衰促進電圧が設定されていることを特徴としている。

- [0176] 減衰促進電圧を、ここでは同極性で吐出維持可能最低電圧よりも絶対値の小さい電圧としているので、減衰促進電圧が逆極性のものに比べて、吐出終了応答性を良好にする効果は劣るが、不吐出時間をできるだけ短縮した単発流吐出が可能となり、近接ドットの形成に対して有効である。また、パルス電圧の上限電圧及び下限電圧の電位差が小さくなるため、低電圧駆動ドライバの使用が可能となる。
- [0177] 本発明のさらに他の静電吸引型流体吐出装置は、以上のように、電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、上記ノズルの吐出孔直径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に直流電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加する電圧印加手段を備え、該直流電圧の印加開始直前に、該直流電圧と同極性でかつ上記吐出可能最低電圧よりも絶対値の小さい予備充電電圧が設定されていることを特徴としている。
- [0178] 上記の構成においても、ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ の微細径とすることで、駆動電圧の低下が可能となり、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となると共に、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にする等の上記した本発明の静電吸引型流体吐出装置と同様の作用を奏する。
- [0179] そして、上記構成では、電圧印加手段が、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に直流電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加するにおいて、該直流電圧の印加開始直前に、該直流電圧と同極性でかつ上記吐出可能最低電圧よりも絶対値の小さい予備充電電圧が設定されているので、電圧印加開始時の吐出開始応答性に起因して、直流電圧印加終了タイミングに依存させた精度の高い吐出開始位置制御が可能となる。
- [0180] つまり、上記した電圧の立ち上がり及び立ち下り時の応答性の問題は、何もパルス電圧に限るものではなく、基板上にライン描画を行うにあたって印加される直流電圧印加時にも生じる。そのため、直流電圧印加開始時の吐出開始応答性に起因して、

直流電圧印加開始タイミングに依存させた精度の高い吐出開始位置制御が行えなかったが、これにより、直流電圧印加開始タイミングに依存させた精度の高い吐出開始位置制御が可能となる。

- [0181] 本発明のさらに他の静電吸引型流体吐出装置は、以上のように、電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、上記ノズルの吐出孔直径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に直流電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加する電圧印加手段を備え、該直流電圧の印加終了直後に、該直流電圧と逆極性の減衰促進電圧が設定されていることを特徴としている。
- [0182] 上記の構成においても、ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ の微細径とすることで、駆動電圧の低下が可能となり、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となると共に、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にする等の上記した本発明の静電吸引型流体吐出装置と同様の作用を奏する。
- [0183] そして、上記構成では、電圧印加手段が、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に直流電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加するにおいて、該直流電圧の印加終了直後に、該直流電圧と逆極性の減衰促進電圧が設定されているので、電圧印加終了時の吐出終了応答性に起因して、直流電圧印加終了タイミングに依存させた精度の高い吐出終了位置制御が可能となる。
- [0184] 印加開始位置制御と同様に、基板上にライン描画を行うにあたって、直流電圧印加終了時の吐出終了応答性に起因して、直流電圧印加終了タイミングに依存させた精度の高い吐出終了位置制御が行えなかったが、これにより、直流電圧印加終了タイミングに依存させた精度の高い吐出終了位置制御が可能となる。
- [0185] また、本発明の上記した静電吸引型流体吐出装置では、吐出可能最低電圧よりも上記減衰促進電圧の絶対値が小さい構成とすることがさらに好ましい。
- [0186] これは、吐出可能最低電圧の絶対値を超えて減衰促進電圧が大きいと、パルス電圧の周期等の減衰促進電圧の印加期間にもよるが、メニスカス表面電位が逆極性側で吐出可能最低電圧より大きくなり、逆極性に帯電した流体が吐出される恐れがある

ためである。吐出可能最低電圧の絶対値よりも小さくしておくことで、メニスカス表面電位が逆極性となることはない。

- [0187] 本発明の静電吸引型流体吐出方法は、以上のように、電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出方法において、上記ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ とし、上記ノズルと上記基板との間に、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧を印加するにあたり、電圧の立ち上がり直前に、上記吐出可能最低電圧よりも絶対値の小さい印加電圧と同極性の予備充電電圧を印加することを特徴としている。
- [0188] 既に説明したように、ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ の微細径とすることで、駆動電圧の低下が可能となり、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となると共に、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にし、対向電極を用いない構成も可能となる。
- [0189] 加えて、電圧の立ち上がり直前に、吐出可能最低電圧よりも絶対値の小さい印加電圧と同極性の予備充電電圧を印加しておくことで、メニスカス表面電位の予備充電が可能となり、吐出開始応答性を良好とできる。
- [0190] また、本発明の他の静電吸引型流体吐出方法は、以上のように、電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出方法において、上記ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ とし、上記ノズルと上記基板との間に、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧を印加するにあたり、電圧の立ち下がり直後に、印加電圧とは逆極性の減衰促進電圧を印加することを特徴としている。
- [0191] 既に説明したように、ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ の微細径とすることで、駆動電圧の低下が可能となり、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となると共に、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にし、対向電極を用いない構成も可能となる。
- [0192] 加えて、電圧の立ち下がり直後に、印加電圧とは逆極性の減衰促進電圧を印加す

ることで、メニスカス表面電位の減衰を促進して流体の切れを良くして、吐出終了応答性を良好とできる。

[0193] [実施の形態2]

局所電界を用いた流体吐出モデルによる静電吸引型流体吐出では、上述したように、ノズル径と駆動電圧とを共に小さくすることが可能である。

[0194] ところが、局所電界を用いた流体吐出モデルの場合、基本的に吐出応答性はノズル内部の電極とノズル先端部との間の流体の電気抵抗 R と、ノズル先端部のメニスカスと基板との間の静電容量 C の積である時定数 RC で決定する。そして、電気抵抗 R と静電容量 C の要素パラメータにはノズル径(直径) d が含まれており、吐出応答性はこのノズル径 d によって変化する。上述したように、ノズル径 d が小さくなるにつれて時定数 RC が極端に大きくなため、吐出応答性が悪くなり、吐出可能な限界周波数も小さくなる。

[0195] つまり、局所電界を用いた流体吐出モデルによる静電吸引型流体吐出では、基本的に吐出応答性は、ノズル内部の電極とノズル先端部との間の流体(吐出材料)の電気抵抗の影響を受けて変化する事となる。したがって、流体の電気伝導度の大きさによって吐出応答性が大幅に変化してしまい、ノズルと基板との相対速度によっては、或いはノズルー基板間に印加する電圧によっては、安定したライン描画が行えないといった不具合が招来される。

[0196] 例えば、気伝導度の低い流体では吐出応答性が悪くなるため、図17に示すように、吐出ヘッド110と、基板13が載置された基板ステージ16の相対的な移動を高速で行うと、直流バイアスを印加しても、低速駆動では問題なく描けていたラインが描けず、途切れたライン描画像となってしまう。

[0197] このような問題は、局所電界を用いた流体吐出モデルによる静電吸引型流体吐出の微細なノズル先端径に起因し、ノズル内部の電極とノズル先端部との間の流体(吐出材料)の電気抵抗の上昇による吐出応答性の悪化と、基板上に形成されるドットやラインの径や幅の超微細化とが原因で生じたもので、従来の吐出量では問題とはならなかった新たな解決課題である。

[0198] 本実施の形態に係る静電吸引型流体吐出装置は、走査速度或いはノズルー基板

間の印加電圧を制御することで、途切れないライン描画像を安定して得ることのできるものである。このような静電吸引型流体吐出装置の構成について、以下に2例、具体的に説明する。なお、説明の便宜上、前述の実施の形態1で用いたものと同じ機能を有する部材には同じ参照符号を付してその説明を省略する。

[0199] (実施の形態2-1)

図18は、本実施の形態の電吸引型流体吐出装置における要部の側面断面図を示したものである。

[0200] この静電吸引型流体吐出装置では、ノズル1のノズル孔の対向面側には、所定の距離離れた位置に、ノズル1のノズル孔から吐出した吐出材料を基板13の表面により安定して着弾させることを目的に対向電極14としての機能も有する基板ステージ16が配設され、この基板ステージ16上に基板13が載置されるようになっている。

[0201] なお、ここでは基板ステージ16に対向基板としての機能を付与するが、上述したように、本発明によれば、ノズル先端部に於ける電界の集中効果と、対向基板に誘起される鏡像力の作用とで、先行技術のように基板を導電性にしたり、基板の背面側に対向電極を設けたりする必要はなく、基板として絶縁性のガラス基板、ポリイミドなどのプラスチック基板、セラミックス基板、半導体基板などを用いることが可能である。

[0202] 電極2と基板ステージ16には、電圧印加部9(図9参照)に代えて駆動信号印加部109が接続されている。この駆動信号印加部109は、制御部118の制御のもと、電極2に印加する信号電圧と基板ステージ16に印加される信号電圧との少なくとも一方を制御して、ノズル1先端部と基板13との間に、パルス電圧或いは直流バイアス電圧を印加するものである。駆動信号印加部109は、単発流吐出であればパルス電圧を印加し、連続流吐出であれば直流バイアス電圧を印加する。ノズル1先端部と基板13との間に印加する電圧の極性はプラスでもマイナスでも良い。なお、基板ステージ16は接地されていてもよい。

[0203] 本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置では、さらに、ヘッド駆動部116と、制御部117と、ステージ駆動部119とを備えている。ヘッド駆動部116は、吐出ヘッド110を少なくともX方向に駆動するものであり、ステージ駆動部119は、基板ステージ16を少なくとも逆X方向に駆動するものである。なお、基板ステージ16側或いは吐出へ

ッド110側の何れか一方側が駆動される構成であってもよい。そして、ヘッド駆動部116及びステージ駆動部119は、制御部117にて制御され、図19に示すように、吐出ヘッド110のX方向への速度 v_H と基板ステージ16の逆X方向への速度 v_s との和である相対速度が走査速度 v となる。

- [0204] ここでは、制御部117・118、ステージ駆動部119、基板ステージ16、吐出ヘッド110、ヘッド駆動部116、及び駆動信号印加部109により、ノズル1と基板13とを相対的に移動させながら、電圧をノズル1と基板13との間に印加してライン描画を行うライン描画手段が構成されている。
- [0205] 図20は、ノズル1と基板13との間に印加される駆動信号波形を示している。ここで、まず、図20を用いて、静電吸引型流体吐の吐出特性について説明する。基本的に、上記した駆動信号印加部109により吐出ヘッド110の上記したノズル1内部の電極2と基板ステージ16とに駆動信号が印加されると、その電位差によって決定される信号電圧111がノズル1と基板13との間に印加される。
- [0206] 信号電圧111は、吐出可能最低電圧(図中、点線に示す)130以上の電圧である。また、基板上に着弾した流体にて形成されるドットやラインの径・幅の大きさは、吐出可能最低電圧130で吐出させることにより最小化することができるので、超微細ドット及び超幅細ラインを安定して形成するために、上記信号電圧111は、各ノズルの吐出可能最低電圧条件近傍に設定される。
- [0207] 吐出可能最低電圧130とは、直流バイアスで流体吐出させた場合に、吐出が可能な最低電圧条件を意味しており、ノズル直径に依存し、ノズル1先端部(ノズル孔)の流体で形成されるメニスカスの表面電位は、この吐出可能最低電圧130に達した時点で吐出が開始されることとなる。
- [0208] 信号電圧111を印加すると、上記電極2から電荷が流れ出し、ノズル1先端部(ノズル孔)の流体で形成されるメニスカス上に電荷が蓄積され始める。メニスカス表面の電位曲線であるメニスカス表面電位(図中、破線にて示す)120は、飽和曲線であり、その飽和速度は印加する信号電圧111や吐出材料3である流体の電気伝導度、ノズル1内部の流路形状に依存する。
- [0209] そして、メニスカス表面電位120が吐出可能最低電圧130まで到達すると、その場

の電界力を受けて微小量の流体が吐出される。流体が吐出されると、メニスカス表面電位120は吐出可能最低電圧130よりも一旦低下するため、曳き糸状となった吐出流体は、ノズル1先端部にて切れることとなる。その後、メニスカス表面電位120は電極2からの電荷供給にて再度上昇し始め、再び吐出可能最低電圧130に達すると再び流体が吐出され、これを繰り返すこととなる。つまり、吐出開始後は、流体吐出に伴う電位の低下と電極からの電荷の蓄積による電位上昇の繰り返しにより、メニスカス表面電位120は吐出維持可能最低電圧130付近で鋸歯状に推移し、この周期で間欠的に吐出が繰り返されることとなる。

[0210] この間欠吐出周期 t_v は、信号電圧111及び流体の電気伝導度により異なり、例えば、電気伝導度が 10^{-8}S/cm 程度の銀ナノペースト材料をノズル直径約 $2\mu\text{m}$ のヘッドを用いて印加電圧300Vで吐出させた場合は、約 $66\mu\text{sec}$ である。

[0211] 次に、ライン描画条件についてであるが、図21(a)に示すように、走査速度 v と各吐出条件により決定する間欠吐出周期 t_v との積 $v \times t_v$ で、基板上の吐出間隔が決定する。そして、その吐出間隔 $v \times t_v$ が、単一吐出パターン(ドット)Pの走査方向のパターン幅と同等であれば、単一吐出パターンが重なることなく接しながら一直線上にのんだ状態となる。安定したライン描画とするには、走査方向に隣接する各単一吐出パターン同士が少しずつ重なるようにすることが望ましい。そこで、ここでは、図21(b)に示すように、隣接する単一吐出パターンP・Pが、副走査方向のパターン幅Dの1/2以上で重なるように、走査速度 v を決定する。これにより、パターンP・P同士が分離することなく連結し、常に安定したライン描画を実現することが可能となる。

[0212] また、ここで、重なり幅を、副走査方向のパターン幅Dの1/2以上としたのは、単一吐出パターンPは、図21(c)に示すように、走査速度 v に依存して走査速度 v が速くなるほど走査方向に長くなるが、副走査方向のパターン幅Dは若干の変化はあっても、走査速度 v に依存して走査方向のパターンほどに変化することはないためである。

[0213] また、隣接する単一吐出パターンP・P同士が必要以上に無駄に重なっても走査速度 v は遅くなるので、副走査方向のパターン幅Dの1.5倍以下で重なり合うように走査速度 v を制御することで、無駄に重ねて走査速度 v を遅くしすぎるといった不具合を伴うことがない。

- [0214] これを走査方向のパターン幅をL、及び走査方向と垂直をなす副走査方向のパターン幅をDとした場合に、走査速度vを、

$$V < (L - 1.5D) / t_v \dots\dots (19)$$

を満たすように設定することで、超微細なライン幅を維持した状態で、途切れない安定したライン描画を高速にて行うことができる。

- [0215] そこで、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置では、制御部117の制御のもと上記ヘッド駆動部116及びステージ駆動部119が、流体の電気伝導度と信号電圧111に応じた間欠吐出周期 t_v に基づいて、間欠吐出現象の周期に合わせ、間欠吐出された吐出パターンPの隣接するもの同士が一部重なり合うように、具体的には上記式(19)を満たすように走査速度vを設定して、吐出ヘッド110及び基板ステージ16を駆動するようになっている。

- [0216] これにより、設定されている信号電圧111の条件のなかで、途切れのない安定したライン描画を高速にて行うことができ、高速ライン描画形成を実現することができる。

- [0217] (実施の形態2-2)

本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置について説明する。但し、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置も構成は基本的に先に述べた実施の形態2-1の静電吸引型流体吐出装置と同じであるので、装置構成図としては、同じ図18を用い、同じ部分の説明は省略し、異なる部分のみを説明する。

- [0218] 実施の形態2-1の静電吸引型流体吐出装置は、信号電圧111は、吐出維持可能最低電圧130以上であるといった条件を満たした上で、吐出可能最低電圧130近傍に設定されており、走査速度vを変化させることで、安定したライン描画を可能とするものであった。これに対し、本実施の形態2の静電吸引型流体吐出装置は、信号電圧111を変化させることで、安定したライン描画を可能とするものである。

- [0219] 図22(a)、図22(b)は、駆動信号波形と間欠吐出周期との関係を示しており、まず、これを用いて、静電吸引型流体吐出の吐出特性について説明する。実施の形態2-1においても説明したが、信号電圧111印加後に増加し始めたメニスカス表面電位120が吐出可能最低電圧130に到達した時点で吐出が開始するが、一度流体を吐出した後は、流体吐出により放出した電荷量分の電位低下と電極2からの電荷供給

分による電位上昇との繰り返しにより、間欠吐出状態が維持されることとなる。

- [0220] そして、吐出後のメニスカス表面電位120の上昇速度は、信号電圧111によって大きく異なり、例えば、図22(a)に示すように、信号電圧111が吐出可能最低電圧130にほぼ等しいような低電圧印加の場合は、メニスカス表面電位120が飽和に近い状態で電位の増減が繰り返されるため、メニスカス表面電位120の増加速度は非常に遅い。そのため、メニスカス表面電位120が吐出可能最低電圧130に到達した時点で開始される吐出の時間間隔は長くなる。
- [0221] これに対し、図22(b)に示すように、信号電圧111が吐出可能最低電圧130よりも十分大きい場合は、メニスカス表面電位120が飽和に遠い状態で電位の増減が繰り返されるため、メニスカス表面電位120の増加速度は非常に速くなる。そのため、メニスカス表面電位120が吐出可能最低電圧130に到達した時点で開始される吐出の時間間隔は短くなる。
- [0222] このように、同一の吐出材料3で、同一のノズル直径の吐出ヘッド110を使用しても、信号電圧111が異なれば、その間欠吐出周波数は変化する。
- [0223] 図23に、吐出材料3としてハリマ化成(株)製の銀ナノペーストを用い、吐出ヘッド110のノズル直径約 $1\mu\text{m}$ として吐出させた場合の信号電圧111と間欠吐出周波数の関係を示す。図23より、信号電圧111が大きい程間欠吐出周波数は大きくなり、吐出の時間間隔が短くなる。つまり、信号電圧111が大きい程ライン描画に対し有効であることがわかる。
- [0224] またさらに、銀ナノペーストを用い、吐出ヘッド110のノズル直径約 $1\mu\text{m}$ として、走査速度 v とライン描画可能最低電圧との関係を調べた。その結果、図24に示すように、走査速度ごとにラインを描画するための最低電圧値が存在し、その電圧値は走査速度が大きいほど大きくなることが確認された。
- [0225] そこで、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置では、制御部118の制御のもと上記駆動信号印加部109が、指定の走査速度 v に対し、間欠吐出現象の単一吐出パターン間隔がゼロとなるライン描画可能最低電圧以上の電圧条件の信号電圧111を設定するようになっている。
- [0226] 具体的は、実施の形態2-1と同様に、図21(b)に示すように、走査方向に隣接す

る単一吐出パターンP・Pにおける重なり幅が、副走査方向のパターン幅Dの0.5倍以上1.5倍以下となる範囲で、信号電圧111を設定する。

[0227] これにより、設定されている走査速度 v の条件のなかで、途切れのない安定したライン描画を確実に形成でき、高速ライン描画形成を実現することができる。

[0228] また、図24より、銀ナノペーストのような電気伝導度が $10^{-7} \sim 10^{-9} \text{ S/cm}$ の吐出材料3に対しては、走査速度 v (mm/sec)とライン描画が可能な最低信号電圧 V_{in} (V)とを、

$$\rightarrow V_{in} > 31v + 75 \quad \dots\dots (20)$$

とすることにより、高速ライン描画形成を簡単に実現することができる。

[0229] 例えば、5mm/sec以上の高速走査時にライン描画を安定して行うためには、印加電圧を300V以上与える必要がある。

[0230] なお、本実施の形態では、走査速度 v と信号電圧111とを別々最適化して安定したライン描画を可能とする構成についてそれぞれ述べたが、信号電圧111を吐出可能最低電圧130より大きく設定すればするほど、ライン描画の線幅が増す傾向にあるため、走査速度 v と信号電圧111の両方を最適化して、必要な線幅・必要な走査速度 v を得るようにしてもよい。

[0231] 本発明の静電吸引型流体吐出装置は、以上のように、電圧印加により帯電された流体を吐出ヘッドに備えられたノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、上記ノズルの吐出孔直径が $0.01 \sim 25 \mu\text{m}$ であると共に、上記ノズルと上記基板とを相対的に移動させながら、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加してライン描画を行うライン描画手段を備え、該ライン描画手段は、上記電圧及び上記流体の電気伝導度に応じて周波数が異なる間欠吐出現象の周期に合わせ、間欠吐出された吐出パターンの隣接するもの同士が一部重なり合うように上記相対移動の速度を制御することを特徴としている。

[0232] 上記の構成によれば、ノズルの吐出孔直径を $0.01 \sim 25 \mu\text{m}$ の微細径とすることで、局所電界を用いた吐出モデルにしたがって、局所電界が発生し、微細ノズル化に

より吐出における駆動電圧の低下が可能となる。このような駆動電圧の低下は、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となる。もちろん、駆動電圧を低下させることで、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にする。

[0233] さらに、上記局所電界を用いた吐出モデルでは、吐出に必要な電界強度は、局所的な集中電界強度に依存することになるため、対向電極の存在が必須とならない。すなわち、対向電極を要せずに絶縁性基板などに対しても印字を行うことが可能となり、装置構成の自由度が増す。また、厚い絶縁体に対しても印字を行うことが可能となる。

[0234] ところが、このような構成では、吐出応答性は基本的に、ノズル内部の電極とノズル先端部との間の流体(吐出材料)の電気抵抗に起因するため、流体の電気伝導度の大きさによって吐出応答性が大幅に変化し、ノズルと基板との相対速度、或いはノズル-基板間に印加する電圧によって、安定したライン描画が行えなくなるといった不具合がある。該不具合は、ノズル先端径を微細化することで、電気抵抗が上昇し吐出応答性が悪化することと、基板上に形成されるドットやラインの径や幅が超微細となることが原因で生じた問題であって、従来の吐出量では問題とはならなかった新たな問題である。

[0235] これに対し、上記構成では、ライン描画手段が、ノズルと基板とを相対的に移動させながら、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧をノズルと基板との間に印加してライン描画を行うにおいて、電圧及び流体の電気伝導度に応じて周波数が異なる間欠吐出現象の周期に合わせて、間欠吐出された吐出パターンの隣接するもの同士が一部重なり合うように相対移動の速度を制御するので、途切れのない安定したライン描画が、線幅が太くなるなどの不具合を伴うことなく、超微細ラインが可能となる吐出可能最低電圧近傍に電圧を設定しながら、高速に実施することができる。

[0236] 本発明のその他の静電吸引型流体吐出装置は、以上のように、電圧印加により帯電された流体を吐出ヘッドに備えられたノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、上記ノズルの吐出孔直径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、上記ノズルと上記

基板とを相対的に移動させながら、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加してライン描画を行うライン描画手段を備え、該ライン描画手段は、上記相対移動の速度にて決定される間欠吐出された吐出パターンの隣接するもの同士が一部重なり合うように電圧を制御することを特徴としている。

[0237] 上記の構成においても、ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ の微細径とすることで、駆動電圧の低下が可能となり、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となると共に、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にする等の上記した本発明の静電吸引型流体吐出装置と同様の作用を奏する。

[0238] そして、上記構成では、ライン描画手段が、ノズルと基板とを相対的に移動させながら、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧をノズルと基板との間に印加してライン描画を行うにおいて、相対移動の速度にて決定される間欠吐出された吐出パターンの隣接するもの同士が一部重なり合うように電圧を制御するので、間欠吐出周波数を高めて高速移動に対応することが可能となり、所望する高速にて途切れのない安定したライン描画が可能となる。

[0239] 上記した本発明の静電吸引型流体吐出装置においては、上記ライン描画手段は、隣接する吐出パターン同士が、該吐出パターンにおける上記相対移動の移動方向とは垂直をなす方向の径の 0.5 倍以上 1.5 倍以下で重なり合うように、上記相対移動の速度或いは上記電圧を制御することが望ましい。

[0240] 吐出パターンの相対移動方向のパターン径は、相対移動速度によって変化するが、相対移動方向とは垂直をなす方向のパターン径に対する相対移動速度による影響は少ない。そこで、このように、吐出パターンにおける相対移動の方向とは垂直をなす方向の径の 0.5 倍以上 1.5 倍以下で重なり合うように相対移動速度或いは電圧を制御することで、安定したライン描画を確実に行うことができると共に、無駄に重ねて相対移動速度を遅くする或いは電圧を大きくしすぎるといった不具合を伴うことがない。

[0241] 本発明のさらに他の静電吸引型流体吐出装置は、以上のように、電圧印加により帯電された流体を吐出ヘッドに備えられたノズルの吐出孔から静電吸引によって吐

出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、上記ノズルの吐出孔直径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、上記ノズルと上記基板とを相対的に移動させながら、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加してライン描画を行うライン描画手段を備え、該ライン描画手段は、上記流体の電気伝導度が $10^{-7}\sim 10^{-9}\text{S/cm}$ である場合、上記相対移動の速度である走査速度を $v(\text{mm/sec})$ 、上記電圧を $V_{\text{in}}(\text{V})$ とすると、 $V_{\text{in}} > 31v + 75$ の関係式を満足する走査速度及び電圧にてライン描画を行うことを特徴としている。

[0242] 上記の構成においても、ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ の微細径とすることで、駆動電圧の低下が可能となり、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となると共に、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にする等の上記した本発明の静電吸引型流体吐出装置と同様の作用を奏する。

[0243] そして、上記構成では、ライン描画手段が、ノズルと基板とを相対的に移動させながら、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧をノズルと基板との間に印加してライン描画を行うにおいて、流体の電気伝導度が $10^{-7}\sim 10^{-9}\text{S/cm}$ である場合、相対移動の速度である走査速度を $v(\text{mm/sec})$ 、上記電圧を $V_{\text{in}}(\text{V})$ とすると、 $V_{\text{in}} > 31v + 75$ の関係式を満足する走査速度及び電圧にてライン描画を行うので、例えば銀ナノペーストのような電気伝導度が $10^{-7}\sim 10^{-9}\text{S/cm}$ の吐出材料に限られるが、安定したライン描画を高速にて簡単に実現することができる。

[0244] 本発明の静電吸引型流体吐出方法は、以上のように、電圧印加により帯電された流体を吐出ヘッドに備えられたノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出方法において、上記ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ とし、上記ノズルと上記基板とを相対的に移動させながら、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加してライン描画を行うにあたり、上記電圧及び上記流体の電気伝導度に応じて周波数が異なる間欠吐出現象の周期に合わせ、間欠吐出された吐出パターンの隣接するもの同士が一部重なり合うように上記相対移動の速度を制御することを特徴としている。

- [0245] 既に説明したように、ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ の微細径とすることで、駆動電圧の低下が可能となり、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となると共に、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にし、対向電極を用いない構成も可能となる。
- [0246] 加えて、電圧及び流体の電気伝導度に応じて周波数が異なる間欠吐出現象の周期に合わせ、間欠吐出された吐出パターンの隣接するもの同士が一部重なり合うようにノズルと基板との相対移動の速度を制御することで、超微細な線幅を維持した状態で、安定したライン描画を高速にて行うことができる。
- [0247] 本発明の他の静電吸引型流体吐出方法は、以上のように、電圧印加により帯電された流体を吐出ヘッドに備えられたノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出方法において、上記ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ とし、上記ノズルと上記基板とを相対的に移動させながら、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加してライン描画を行うにあたり、間欠吐出された吐出パターンであって、上記相対移動の速度にて決定される吐出パターンの隣接するもの同士が一部重なり合うように上記電圧を制御することを特徴としている。
- [0248] 既に説明したように、ノズルの吐出孔直径を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ の微細径とすることで、駆動電圧の低下が可能となり、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となると共に、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にし、対向電極を用いない構成も可能となる。
- [0249] 加えて、ノズルと基板の相対移動の速度にて決定される間欠吐出された吐出パターンの隣接するもの同士が一部重なり合うように、ノズルと基板間に印加する電圧を制御するので、速度と電圧を最適化して所望する高速にて途切れのない安定したライン描画が可能となる。
- [0250] [実施の形態3]
- ここでは、超微細ノズルから静電力によって超微細液体を吐出させる場合における駆動電圧条件について究明した結果について説明する。また、以下の実施の形態

では、吐出対象物に対して液体(流体)の安定な吐出を行うため、ノズルに対して対向電極を対置し、ノズルと対向電極(すなわち対向電極を介して接地される吐出先部材)との間に電界を発生させる構成としている。

[0251] 静電吸引型流体吐出装置においては、局所電界を用いた流体吐出モデルによる静電吸引型流体吐出を用いており、既に説明したように、ノズル孔の直径(ノズル径)を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ の範囲とすることにより、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化との両立が可能である。

[0252] しかしながら、静電吸引型流体吐出装置により特に微小ドットや微細ラインを形成する場合、ノズル内部の駆動電極と基板(対向電極の前に設けられた対象物)との間の電位差が重要な要素となる。すなわち、この電位差が大き過ぎると液体の吐出量が多くなり微細パターンを形成することが困難である一方、上記電位差が小さ過ぎると吐出不良が発生する。

[0253] さらに、各電圧値に対する印加時間も重要な要素である。すなわち、ある電圧値に対して印加時間が長過ぎると吐出量過多となり微細パターンの形成が困難となる一方、印加時間が短過ぎると吐出不良が発生する。

[0254] そこで、本実施の形態においては、ノズルと対向電極との間の印加電圧(駆動電圧)および印加時間を適切に設定することにより、安定した微細ドットパターンの形成が可能となるようにしている。なお、説明の便宜上、前述の実施の形態1、2で用いたものと同じ機能を有する部材には同じ参照符号を付してその説明を省略する。

[0255] (実施の形態3-1)

図25(a)、図25(b)、図26、図27(a)～図27(c)は、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置による液体吐出方法を説明するものである。図25(a)は静電吸引型流体吐出装置における概略構成図であり、図25(b)はその等価回路である。図26は、ノズル1と対向電極14(すなわち基板13)との間に印加する駆動電圧の印加時間と吐出開始電圧(吐出最低電圧)との関係を示すグラフである。図27(a)～図27(c)は、ノズル先端のメニスカスの表面電位上昇と吐出開始条件との関係を示すグラフである。

[0256] 図25(a)に示すように、静電吸引型流体吐出装置では、ノズル1と対向電極14とが

対向配置されている。対向電極14は接地されている。ノズル1内には電極(駆動電極)2が設けられ、この電極2には電源(駆動電圧印加手段)214が接続されている。また、ノズル1内には液体からなる吐出材料(流体)3が充填され、対向電極14におけるノズル1との対向面には吐出材料3の吐出先である基板(吐出先部材)13が配置されている。この基板13は対向電極14を通じて接地される。基板13にはノズル1から吐出された吐出材料3により、例えば微細な配線パターンが形成される。

[0257] 電源214の動作は、例えばコンピュータからなる制御装置(駆動電圧印加手段)217により制御される。すなわち、制御装置217からの吐出信号が電源214に供給され、この吐出信号に応じて電源214から例えばパルス波形の電圧が電極2に印加される。ノズル1内の吐出材料3はこの電圧により帯電する。上記駆動電圧の一例は例えば図28に示すとおりである。

[0258] 基板13としては、絶縁性のガラス基板、ポリイミドなどのプラスチック基板、セラミックス基板、あるいは半導体基板などを用いることが可能である。

[0259] 上記の構成において、静電吸引型流体吐出装置での微細液体吐出における基本特性、特にノズル1先端のメニスカス240に蓄積された電荷による表面電位について説明する。

[0260] 図25(a)に示した静電吸引型流体吐出装置において、電源214から電極2に駆動電圧が印加されることにより、電極2から吐出材料3に電荷が供給される。この電荷は、ノズル1内部の吐出材料3を通じて、ノズル1の先端部に形成された、静電容量を有するメニスカス240に移動し、基板13と対向すると考えられる。したがって、図25(a)の構成は、図25(b)に示すように、電源214から電極2に印加される駆動電圧 V_0 、ノズル1内部の吐出材料3の電気抵抗 R 、メニスカス240と基板13との間の静電容量 C を用いて、直列回路として表すことができる。

[0261] 上記の V_0 、 R 、 C の直列回路では、これら V_0 、 R 、 C の関係をメニスカス240上での蓄積電荷 $Q(t)$ を用いて次のように表すことができる。

[0262] $RdQ(t)/dt + Q(t)/C = V_0$ (21)

上記(21)式の微分方程式を解くと、メニスカス表面の蓄積電荷 $Q(t)$ およびメニスカス表面電位 $V(t)$ は以下のように表すことができる。

[0263] $Q(t) = CV_0 [1 - \exp(-t/RC)] \quad \dots\dots (22)$

$V(t) = V_0 [1 - \exp(-t/RC)] \quad \dots\dots (23)$

次に、図26に示す実験結果について説明する。これは、実際に吐出材料3として銀ナノペーストを用いて行った実験結果であり、吐出開始電圧と印加時間との関係を示している。なお、吐出開始電圧(吐出最低電圧)とはノズル1から吐出材料3の吐出が行われる場合の電極2への最低の印加電圧である。

[0264] 図26からは、印加時間が短くなるに連れて吐出に必要な電圧値が大きくなり、吐出開始条件として、印加電圧(駆動電圧)および印加時間の両者と吐出開始に必要なパラメータが関係することが確認できる。

[0265] 図27(a)－図27(c)には、電源214から電極2への印加電圧が互いに異なる3値の場合について、吐出開始電位に到達するまでのメニスカス240の表面電位の変化を示している。なお、図27(a)－図27(c)は図26に示す結果を(23)式に代入して得た結果である。図27(a)－図27(c)における印加電圧と印加時間との各々の値は、図26のグラフ上の3点であり、それぞれ図27(a)が440Vかつ2400 μ sec、図27(b)が680Vかつ1200 μ sec、図27(c)が1600Vかつ400 μ secである。

[0266] 図27(a)－図27(c)の各場合において、電源214から電極2に電圧を印加すると、電極2から吐出材料3へ電荷が流れ出し、メニスカス240の表面に蓄積し始める。その際、メニスカス表面電位は、図27(a)－図27(c)に示すように、飽和曲線を描きながら上昇し、その上昇速度は(23)式中の電圧 V_0 および時定数RCに依存する。

[0267] 各印加電圧値に従って上昇したメニスカス表面電位は、吐出最低条件の場合、設定された印加時間に達した時点で吐出開始電圧に到達しているのが確認できる。すなわち、メニスカス表面電位が吐出開始電圧に到達するのに必要な時間以上の印加時間を与えれば、吐出材料3の吐出が可能となるわけであり、具体的には(23)式におけるメニスカス表面電位 $V(t)$ が吐出開始電圧VDCよりも大きい状態となるような駆動電圧 V_0 および印加時間 t を設定すれば吐出が可能となる。すなわち、

$$VDC \leq V_0 [1 - \exp(-t/RC)] \quad \dots\dots (24)$$

とすればよい。

[0268] なお、ここで言う吐出開始電圧VDCとは、印加時間を十分に与えた時の最低印加

電圧値であり、ここではDCバイアスでの最低電圧条件としている。

[0269] 上記のように、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置では、ノズル1先端に生じるメニスカス表面電位を確実に吐出材料3の吐出開始電位以上に設定することができ、安定した微細ドット形成を行うことができる。

[0270] また、図29は本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置におけるノズル径(ノズル1の孔径(直径))とノズル1からの吐出材料3の吐出開始電圧との関係を示すグラフである。図29は、吐出材料3を銀ナノペーストとして、DCバイアスを印加した場合の吐出開始電圧とノズル径との関係を調べた結果である。

[0271] 図29の結果では、ノズル径が小さくなるにつれて、吐出開始電圧が低下し、ノズル径が $1\mu\text{m}$ の場合に吐出開始電圧は約 140V となる。すなわち、ノズル径が $\phi 1\mu\text{m}$ 以上のノズル1を使用する場合には、DCバイアスを最低でも 130V 以上印加することにより確実に安定した吐出が行われることになる。

[0272] すなわち、 $\phi 1\mu\text{m} \sim \phi 5\mu\text{m}$ のノズル径において、前記(24)式の、 $V_{DC} \leq V_0 [1 - \exp(-t/RC)]$ にて表される吐出開始電圧 V_{DC} が 130V であるということから、すべての電圧波形に対して、

$$130\text{V} < V_0 [1 - \exp(-t/RC)] \quad \cdots \cdots (25)$$

を満たす駆動電圧 V_0 および印加時間 t を設定することにより、安定した微細液体の吐出が可能となる。

[0273] このように、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置では、ノズル径が $\phi 1\mu\text{m} \sim \phi 5\mu\text{m}$ のノズル1に関して、上記(25)式を満たす駆動電圧 V_0 およびその印加時間 t を設定することにより、安定した微細液体の吐出が可能である。

[0274] なお、上記のように、ノズル径の範囲を $\phi 1\mu\text{m} \sim \phi 5\mu\text{m}$ としているのは、ノズル径の $\phi 1\mu\text{m}$ が形成可能なノズル径の技術的下限值であることによる。また、ノズル径の $\phi 5\mu\text{m}$ は、静電吸引型流体吐出装置によって基板13上にラインを描画する場合、このノズル径により、微細なラインとして要望されている $10\mu\text{m}$ のラインを描くことが可能であることによる。

[0275] また、ノズル1の駆動に必要な電圧はノズル1内部の電極2に印加された信号と対向電極14に印加された信号との電位差であるので、各電極に印加される信号の形

態は任意である。また、駆動電圧の符号は、正負どちらでも構わない。

[0276] (実施の形態3-2)

本実施の形態を図面に基づいて以下に説明する。図30は本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置における吐出開始電圧(吐出最低電圧)とノズル-基板間距離(ノズル1の先端部と基板13との距離)との関係を示すグラフである。本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置は図25の構成を有する。また、ノズル径を $\phi 1 \mu\text{m}$ 〜 $\phi 5 \mu\text{m}$ としている。なお、本実施の形態では、前記の実施の形態3-1と同じ部分の説明は省略し、異なる部分のみを説明する。

[0277] 図30は、吐出材料3を銀ナノペーストとして、各ノズル径($\phi 1.2 \mu\text{m}$ 、 $\phi 1.8 \mu\text{m}$ 、 $\phi 2.4 \mu\text{m}$ 、 $\phi 4.2 \mu\text{m}$)において、電極2にDCバイアスを印加した場合の吐出開始電圧とノズル-基板間距離との関係を調べた結果である。

[0278] 図30の結果では、吐出開始電圧は、ノズル-基板間距離に依存し、この距離が大きくなるにつれて上昇する。しかしながら、ノズル径を $\phi 1 \mu\text{m}$ 〜 $\phi 5 \mu\text{m}$ に限定した場合、 $200 \mu\text{m}$ 以下のノズル-基板間距離にて描画を行えば、電極2への印加電圧は130V以上250V以下の低くかつ狭い範囲とすることができる。

[0279] すなわち、 $\phi 1 \mu\text{m}$ 〜 $\phi 5 \mu\text{m}$ のノズル径において、前記(24)により $V_{DC} \leq V_0 [1 - \exp(-t/RC)]$ で表される吐出開始電圧 V_{DC} の範囲は、130V以上250V以下である。このことから、すべての電圧波形に対して、

$$130V < V_0 [1 - \exp(-t/RC)] < 250V \cdots (26)$$

を満たす電圧 V_0 および印加時間 t を設定することにより、安定した微細液体の吐出が可能となる。

[0280] このように、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置では、ノズル径が $\phi 1 \mu\text{m}$ 〜 $\phi 5 \mu\text{m}$ のノズル1に関して、上記(26)式を満たす駆動電圧 V_0 およびその印加時間 t を設定することにより、過剰吐出および吐出不良のない安定した微細液体の吐出が可能である。

[0281] なお、ノズル1の駆動に必要な電圧はノズル1内部の電極2に印加された信号と対向電極14に印加された信号との電位差であるので、各電極に印加される信号の形態は任意である。また、駆動電圧の符号は、正負どちらでも構わない。

[0282] ここで、図30の結果に基づき、ノズル径が $\phi 1 \mu\text{m}$ 〜 $\phi 5 \mu\text{m}$ の範囲のノズル1を使用し、ノズル−基板間距離を変数 X として変化させた場合の吐出開始電圧(吐出最低電圧)の最大値(V_H)と最小値(V_L)とのそれぞれの推移を一般式で示すと、

$$V_H = -0.001X^2 + 0.44X + 125 \quad \cdots (27)$$

$$V_L = -0.0013X^2 + 0.69X + 160 \quad \cdots (28)$$

となる。

[0283] また、上記 V_H および V_L を用いて、上記の(26)式は、

$$V_L \leq V_0 [1 - \exp(-t/RC)] \leq V_H \quad \cdots (29)$$

と表すことができる。

[0284] (実施の形態3-3)

本実施の形態を図面に基づいて以下に説明する。図31は本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置におけるメニスカス表面電位ばらつきと電極2への印加電圧(駆動電圧)との関係を示すグラフである。本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置は図25の構成を有する。また、ノズル径を $\phi 1 \mu\text{m}$ 〜 $\phi 5 \mu\text{m}$ としている。なお、本実施の形態では、前記の実施の形態3-1、3-2と同じ部分の説明は省略し、異なる部分のみを説明する。

[0285] 静電吸引型流体吐出装置にて基板13上に微細パターンを形成する際に、吐出材料3の水平方向の位置を高精度に設定すること、およびノズル−基板間距離(ノズル先端と基板との間のギャップ)を高精度に調整することは共に重要である。これらの点は、予め凹凸パターンを有する基板13に対して微細パターンを形成する場合に特に重要である。

[0286] そこで、本実施の形態では、ノズル1の電極2に駆動電圧としてパルス電圧を印加した場合の、ノズル−基板間距離の変動によるメニスカス表面電位のばらつきを調べ、その結果を図31に示した。この場合、吐出材料3としては銀ナノペーストを使用し、ノズル径は $\phi 1 \mu\text{m}$ 〜 $\phi 5 \mu\text{m}$ の範囲である。図31では、具体的には、ノズル−基板間距離を $30 \mu\text{m}$ に設定し、その1割にあたる $1.5 \mu\text{m}$ のばらつきが発生した場合のメニスカス表面電位の変化量を示した。

[0287] 図31の結果から、メニスカス表面電位のばらつきは、電極2への印加電圧の値によ

り大きく変化し、印加電圧が大きいほど急激に変化量が大きくなることがわかる。すなわち、例えば、メニスカス表面電位の変化量が増加側にシフトとすると、ノズル1から吐出材料3が突然大量に吐出され、逆に減少側にシフトすると、ノズル1からの吐出材料3の吐出が突然停止されるといった事態が生じる。

[0288] 具体的には、電極2に高電圧を印加した場合には、吐出材料3の突然の大量吐出や吐出停止の可能性が高くなる。すなわち、図31の結果から、安定した吐出を行うためには、メニスカス表面電位の変化量を1V以下に抑制することが好ましく、これは、図31から電極2への印加電圧を250V以下に設定することで可能となる。

[0289] 以上のように、本静電吸引型流体吐出装置では、ノズル径が $\phi 1 \mu\text{m} \sim \phi 5 \mu\text{m}$ のノズル1を使用する構成において、 $130\text{V} < V_0 [1 - \exp(-t/RC)] < 250\text{V}$ を満たす電圧 V_0 および印加時間 t を設定し、さらに、印加電圧 V_0 を250V以下に設定することで、ノズル-基板間距離の変動等によるメニスカス表面電位のばらつきを抑制することができ、基板13上に微細パターンを形成する場合の微細液体の安定した吐出が可能となる。

[0290] なお、ノズル1の駆動に必要な電圧はノズル1内部の電極2に印加された信号と対向電極14に印加された信号との電位差であるので、各電極に印加される信号の形態は任意である。また、駆動電圧の符号は、正負どちらでも構わない。

[0291] 以上のように、本発明の静電吸引型流体吐出装置は、ノズルに駆動電圧印加手段から駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出装置において、前記ノズルの孔径が $\phi 0.01 \mu\text{m} \sim \phi 25 \mu\text{m}$ であり、前記駆動電圧印加手段が、ノズル内部の液体材料の電気抵抗を R 、ノズル先端部の液体と吐出先部材との間の静電容量を C 、前記駆動電圧印加により流体を吐出可能な最低電圧条件を V_{DC} と定義したときに、 $V_{DC} \leq V_0 [1 - \exp(-t/RC)]$ を満たす駆動電圧 V_0 かつ印加時間 t のパルス電圧を前記駆動電圧として出力する構成である。

[0292] 本発明の静電吸引型流体吐出装置は、以上のように、ノズルと吐出先部材との間に駆動電圧印加手段から駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出

装置において、前記ノズルの孔径は $\phi 1 \mu\text{m}$ 〜 $\phi 5 \mu\text{m}$ であり、前記駆動電圧印加手段は、前記流体の電気抵抗を R 、ノズル先端部の前記流体と前記吐出先部材との間の静電容量を C としたときに、 $130\text{V} < V_0 [1 - \exp(-t/RC)]$ を満たす電圧 V_0 および印加時間 t の条件にて前記駆動電圧を出力することを特徴としている。

[0293] また、本発明の静電吸引型流体吐出方法は、ノズルと吐出先部材との間に駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出方法において、前記ノズルの孔径は $\phi 1 \mu\text{m}$ 〜 $\phi 5 \mu\text{m}$ であり、前記流体の電気抵抗を R 、ノズル先端部の前記流体と前記吐出先部材との間の静電容量を C としたときに、 $130\text{V} < V_0 [1 - \exp(-t/RC)]$ を満たす電圧 V_0 および印加時間 t の条件にて前記駆動電圧を出力することを特徴としている。

[0294] 従来、静電吸引型流体吐出装置において、ノズル孔径の縮小は吐出に必要な電界強度の増加を招来するため、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化は両立し得ないと考えられていた。これに対し、本願発明では、ノズル孔径を $\phi 0.01 \mu\text{m}$ 〜 $\phi 25 \mu\text{m}$ の微細径とした場合に局所電界が発生し、吐出における駆動電圧の低下が可能になるという新たな知見に基づき、ノズル孔径を上記範囲内とすることにより、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化の両立を実現している。

[0295] また、本願発明の構成では、ノズルの孔径をさらに $\phi 1 \mu\text{m}$ 〜 $\phi 5 \mu\text{m}$ の範囲に限定しているので、ノズル孔径の微細化による駆動電圧の低電圧化をさらに確実なものとしている。

[0296] また、 $130\text{V} < V_0 [1 - \exp(-t/RC)]$ を満たす電圧 V_0 および印加時間 t の条件にてノズルの駆動電圧を出力しているので、ノズル先端のメニスカス表面電位を確実に吐出可能電位以上に設定することができ、微細ドット形成における信頼性を向上することができる。

[0297] 本発明のその他の静電吸引型流体吐出装置は、ノズルと吐出先部材との間に駆動電圧印加手段から駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出装置において、前記ノズルの孔径は $\phi 1 \mu\text{m}$ 〜 $\phi 5 \mu\text{m}$ であり、前記駆動電圧印加手段は、

前記流体の電気抵抗を R 、ノズル先端部の前記流体と前記吐出先部材との間の静電容量を C としたときに、 $130V < V_0 [1 - \exp(-t/RC)] < 250V$ を満たす電圧 V_0 および印加時間 t の条件にて前記駆動電圧を出力することを特徴としている。

[0298] 上記の構成によれば、前記静電吸引型流体吐出装置と同様、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化の両立を実現することができ、また、ノズル孔径をさらに $\phi 1 \mu m - \phi 5 \mu m$ の範囲に限定しているので、ノズル孔径の微細化による駆動電圧の低電圧化をさらに確実なものとすることができる。

[0299] また、 $130V < V_0 [1 - \exp(-t/RC)] < 250V$ を満たす電圧 V_0 および印加時間 t の条件にてノズルの駆動電圧を出力しているので、ノズル先端のメニスカス表面電位を確実に吐出可能電位以上に設定することができ、微細ドット形成における信頼性を向上することができるとともに、駆動電圧を低くかつ狭い範囲に設定することができる。

[0300] 本発明のさらに他の静電吸引型流体吐出装置は、ノズルと吐出先部材との間に駆動電圧印加手段から駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出装置において、前記ノズルの孔径は $\phi 1 \mu m - \phi 5 \mu m$ であり、前記駆動電圧印加手段は、前記流体の電気抵抗を R 、ノズル先端部の前記流体と前記吐出先部材との間の静電容量を C としたときに、 $130V < V_0 [1 - \exp(-t/RC)] < 250V$ 、かつ $V_0 < 250V$ を満たす電圧 V_0 および印加時間 t の条件にて前記駆動電圧を出力することを特徴としている。

[0301] 上記の構成によれば、前記静電吸引型流体吐出装置と同様、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化の両立を実現することができ、また、ノズル孔径をさらに $\phi 1 \mu m - \phi 5 \mu m$ の範囲に限定しているので、ノズル孔径の微細化による駆動電圧の低電圧化をさらに確実なものとすることができる。

[0302] また、 $130V < V_0 [1 - \exp(-t/RC)] < 250V$ を満たす電圧 V_0 および印加時間 t の条件にてノズルの駆動電圧を出力しているので、ノズル先端のメニスカス表面電位を確実に吐出可能電位以上に設定することができ、微細ドット形成における信頼性を向上することができるとともに、駆動電圧を低くかつ狭い範囲に設定することができる。

。 [0303] さらに、電圧 $V_0 < 250V$ としているので、ノズル先端部に形成されるメニスカス表面電位の変化量を低く抑えることができる。これにより、ノズル吐出先部材間距離の変動等によるメニスカス表面電位のばらつきを抑制することができ、吐出先部材上に微細パターンを形成する場合の微細液体の安定した吐出が可能となる。

[0304] 本発明のさらに他の静電吸引型流体吐出装置は、ノズルと吐出先部材との間に駆動電圧印加手段から駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出装置において、前記ノズル先端部と前記吐出先部材との間の距離を X とし、前記ノズルの孔径を $\phi 1 \mu m \sim \phi 5 \mu m$ とし、ノズルの孔径がこの範囲である場合の、ノズルから前記流体の吐出が開始される吐出開始電圧の最大値を V_H 、最小値を V_L とした場合に、

$$V_H = -0.001X^2 + 0.44X + 125$$

$$V_L = -0.0013X^2 + 0.69X + 160$$

であることを特徴としている。

[0305] 上記の構成によれば、前記静電吸引型流体吐出装置と同様、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化の両立を実現することができ、また、ノズル孔径をさらに $\phi 1 \mu m \sim \phi 5 \mu m$ の範囲に限定しているので、ノズル孔径の微細化による駆動電圧の低電圧化をさらに確実なものとすることができる。

[0306] さらに、ノズルからの流体の吐出開始電圧が、 $V_H = -0.001X^2 + 0.44X + 125$ 、 $V_L = -0.0013X^2 + 0.69X + 160$ で与えられる最大値(V_H)と最小値(V_L)との間に設定されるので、微細パターン形成の際のノズルからの流体の吐出において、安定かつ信頼性の高い動作が可能となる。

[0307] 発明を実施するための最良の形態の項においてなした具体的な実施態様または実施例は、あくまでも、本発明の技術内容を明らかにするものであって、そのような具体例にのみ限定して狭義に解釈されるべきものではなく、本発明の精神と次に記載する特許請求の範囲内で、いろいろと変更して実施することができるものである。

産業上の利用の可能性

[0308] 基板上に微細なドットや微細な配線パターンを形成することができるので、液晶ディスプレイ、プラズマディスプレイ、エレクトロルミネッセンス等のフラットディスプレイ製造におけるパターン形成を始め、半導体装置製造やプリント配線板の導体パターン形成等にも適用できる。

請求の範囲

- [1] 電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、
- 上記ノズルの吐出孔直径が $0.01\mu\text{m}$ ～ $25\mu\text{m}$ であると共に、
- 流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に上限電圧が設定されたパルス電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加する電圧印加手段を備え、
- 該パルス電圧の立ち上がり直前に、上限電圧と同極性でかつ上記吐出可能最低電圧よりも絶対値の小さい予備充電電圧が設定されていることを特徴とする静電吸引型流体吐出装置。
- [2] 電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、
- 上記ノズルの吐出孔直径が $0.01\mu\text{m}$ ～ $25\mu\text{m}$ であると共に、
- 流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に上限電圧が設定されたパルス電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加する電圧印加手段を備え、
- 該パルス電圧の立ち下がり直後に、上限電圧と逆極性の減衰促進電圧が設定されていることを特徴とする静電吸引型流体吐出装置。
- [3] 電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、
- 上記ノズルの吐出孔直径が $0.01\mu\text{m}$ ～ $25\mu\text{m}$ であると共に、
- 流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に上限電圧が設定されたパルス電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加する電圧印加手段を備え、
- 該パルス電圧の立ち上がり直前に、上限電圧と同極性でかつ上記吐出可能最低

電圧よりも絶対値の小さい予備充電電圧が設定されると共に、パルス電圧の立ち下がり直後に、上限電圧と逆極性の減衰促進電圧が設定されていることを特徴とする静電吸引型流体吐出装置。

- [4] 電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、

上記ノズルの吐出孔直径が $0.01\mu\text{m}$ ～ $25\mu\text{m}$ であると共に、

流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に上限電圧が設定されたパルス電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加する電圧印加手段を備え、

該パルス電圧の立ち上がり直前に、上限電圧と同極性でかつ上記吐出可能最低電圧よりも絶対値の小さい予備充電電圧が設定されると共に、パルス電圧の立ち下がり直後に、上限電圧と同極性で上記予備充電電圧よりも絶対値の小さい減衰促進電圧が設定されていることを特徴とする静電吸引型流体吐出装置。

- [5] 電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、

上記ノズルの吐出孔直径が $0.01\mu\text{m}$ ～ $25\mu\text{m}$ であると共に、

流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に直流電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加する電圧印加手段を備え、

該直流電圧の印加開始直前に、該直流電圧と同極性でかつ上記吐出可能最低電圧よりも絶対値の小さい予備充電電圧が設定されていることを特徴とする静電吸引型流体吐出装置。

- [6] 電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、

上記ノズルの吐出孔直径が $0.01\mu\text{m}$ ～ $25\mu\text{m}$ であると共に、

流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上に直流電圧を上

記ノズルと上記基板との間に印加する電圧印加手段を備え、

該直流電圧の印加終了直後に、該直流電圧と逆極性の減衰促進電圧が設定されていることを特徴とする静電吸引型流体吐出装置。

- [7] 上記吐出可能最低電圧よりも上記減衰促進電圧の絶対値が小さいことを特徴とする請求項2、3、6に記載の静電吸引型流体吐出装置。

- [8] 電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出方法において、

上記ノズルの吐出孔直径を $0.01\mu\text{m}$ ～ $25\mu\text{m}$ とし、

上記ノズルと上記基板との間に、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧を印加するにあたり、電圧の立ち上がり直前に、上記吐出可能最低電圧よりも絶対値の小さい印加電圧と同極性の予備充電電圧を印加することを特徴とする静電吸引型流体吐出方法。

- [9] 電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出方法において、

上記ノズルの吐出孔直径を $0.01\mu\text{m}$ ～ $25\mu\text{m}$ とし、

上記ノズルと上記基板との間に、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧を印加するにあたり、電圧の立ち下がり直後に、印加電圧とは逆極性の減衰促進電圧を印加することを特徴とする静電吸引型流体吐出方法。

- [10] 電圧印加により帯電された流体を吐出ヘッドに備えられたノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、

上記ノズルの吐出孔直径が $0.01\mu\text{m}$ ～ $25\mu\text{m}$ であると共に、

上記ノズルと上記基板とを相対的に移動させながら、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加してライン描画を行うライン描画手段を備え、

該ライン描画手段は、上記電圧及び上記流体の電気伝導度に応じて周波数が異

なる間欠吐出現象の周期に合わせ、間欠吐出された吐出パターンとの隣接するもの同士が一部重なり合うように上記相対移動の速度を制御することを特徴とする静電吸引型流体吐出装置。

- [11] 電圧印加により帯電された流体を吐出ヘッドに備えられたノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、

上記ノズルの吐出孔直径が $0.01\mu\text{m}$ ～ $25\mu\text{m}$ であると共に、

上記ノズルと上記基板とを相対的に移動させながら、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加してライン描画を行うライン描画手段を備え、

該ライン描画手段は、間欠吐出された吐出パターンであって、上記相対移動の速度にて決定される吐出パターンの隣接するもの同士が一部重なり合うように電圧を制御することを特徴とする静電吸引型流体吐出装置。

- [12] 上記ライン描画手段は、隣接する吐出パターン同士が、該吐出パターンにおける上記相対移動の移動方向とは垂直をなす方向の径の 0.5 倍以上 1.5 倍以下で重なり合うように、上記相対移動の速度或いは上記電圧を制御することを特徴とする請求項10又は11に記載の静電吸引型流体吐出装置。

- [13] 電圧印加により帯電された流体を吐出ヘッドに備えられたノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、

上記ノズルの吐出孔直径が $0.01\mu\text{m}$ ～ $25\mu\text{m}$ であると共に、

上記ノズルと上記基板とを相対的に移動させながら、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加してライン描画を行うライン描画手段を備え、

該ライン描画手段は、上記流体の電気伝導度が 10^{-7} ～ 10^{-9}S/cm である場合、上記相対移動の速度である走査速度を $v(\text{mm/sec})$ 、上記電圧を $V_{\text{in}}(\text{V})$ とすると、

$$V_{\text{in}} > 31v + 75$$

の関係式を満足する走査速度及び電圧にてライン描画を行うことを特徴とする静電

吸引型流体吐出装置。

- [14] 電圧印加により帯電された流体を吐出ヘッドに備えられたノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出方法において、

上記ノズルの吐出孔直径を $0.01\mu\text{m}$ ～ $25\mu\text{m}$ とし、

上記ノズルと上記基板とを相対的に移動させながら、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加してライン描画を行うにあたり、上記電圧及び上記流体の電気伝導度に応じて周波数が異なる間欠吐出現象の周期に合わせ、間欠吐出された吐出パターンの隣接するもの同士が一部重なり合うように上記相対移動の速度を制御することを特徴とする静電吸引型流体吐出方法。

- [15] 電圧印加により帯電された流体を吐出ヘッドに備えられたノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることで、ノズルに対向配置された基板に着弾させる静電吸引型流体吐出方法において、

上記ノズルの吐出孔直径を $0.01\mu\text{m}$ ～ $25\mu\text{m}$ とし、

上記ノズルと上記基板とを相対的に移動させながら、流体の吐出が開始される電圧条件である吐出可能最低電圧以上の電圧を上記ノズルと上記基板との間に印加してライン描画を行うにあたり、間欠吐出された吐出パターンであって、上記相対移動の速度にて決定される吐出パターンの隣接するもの同士が一部重なり合うように上記電圧を制御することを特徴とする静電吸引型流体吐出方法。

- [16] ノズルと吐出先部材との間に駆動電圧印加手段から駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出装置において、

前記ノズルの孔径は $\phi 1\mu\text{m}$ ～ $\phi 5\mu\text{m}$ であり、

前記駆動電圧印加手段は、前記流体の電気抵抗を R 、ノズル先端部の前記流体と前記吐出先部材との間の静電容量を C としたときに、

$$130V < V_0 [1 - \exp(-t/RC)]$$

を満たす電圧 V_0 および印加時間 t の条件にて前記駆動電圧を出力することを特徴と

する静電吸引型流体吐出装置。

- [17] ノズルと吐出先部材との間に駆動電圧印加手段から駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出装置において、

前記ノズルの孔径は $\phi 1 \mu\text{m} \sim \phi 5 \mu\text{m}$ であり、

前記駆動電圧印加手段は、前記流体の電気抵抗をR、ノズル先端部の前記流体と前記吐出先部材との間の静電容量をCとしたときに、

$$130V < V_0 [1 - \exp(-t/RC)] < 250V$$

を満たす電圧 V_0 および印加時間 t の条件にて前記駆動電圧を出力することを特徴とする静電吸引型流体吐出装置。

- [18] ノズルと吐出先部材との間に駆動電圧印加手段から駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出装置において、

前記ノズルの孔径は $\phi 1 \mu\text{m} \sim \phi 5 \mu\text{m}$ であり、

前記駆動電圧印加手段は、前記流体の電気抵抗をR、ノズル先端部の前記流体と前記吐出先部材との間の静電容量をCとしたときに、

$$130V < V_0 [1 - \exp(-t/RC)] < 250V$$

$$\text{かつ } V_0 < 250V$$

を満たす電圧 V_0 および印加時間 t の条件にて前記駆動電圧を出力することを特徴とする静電吸引型流体吐出装置。

- [19] ノズルと吐出先部材との間に駆動電圧印加手段から駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出装置において、

前記ノズル先端部と前記吐出先部材との間の距離をXとし、前記ノズルの孔径を $\phi 1 \mu\text{m} \sim \phi 5 \mu\text{m}$ とし、ノズルの孔径がこの範囲である場合の、ノズルから前記流体の吐出が開始される吐出開始電圧の最大値を V_H 、最小値を V_L とした場合に、

$$V_H = -0.001X^2 + 0.44X + 125$$

$$V_L = -0.0013X^2 + 0.69X + 160$$

であることを特徴とする静電吸引型流体吐出装置。

- [20] ノズルと吐出先部材との間に駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出方法において、

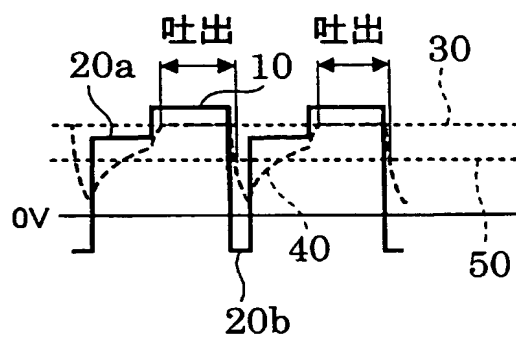
前記ノズルの孔径は $\phi 1 \mu\text{m}$ ～ $\phi 5 \mu\text{m}$ であり、

前記流体の電気抵抗を R 、ノズル先端部の前記流体と前記吐出先部材との間の静電容量を C としたときに、

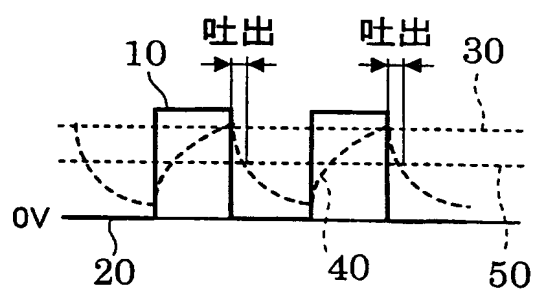
$$130\text{V} < V_0 [1 - \exp(-t/RC)]$$

を満たす電圧 V_0 および印加時間 t の条件にて前記駆動電圧を出力することを特徴とする静電吸引型流体吐出方法。

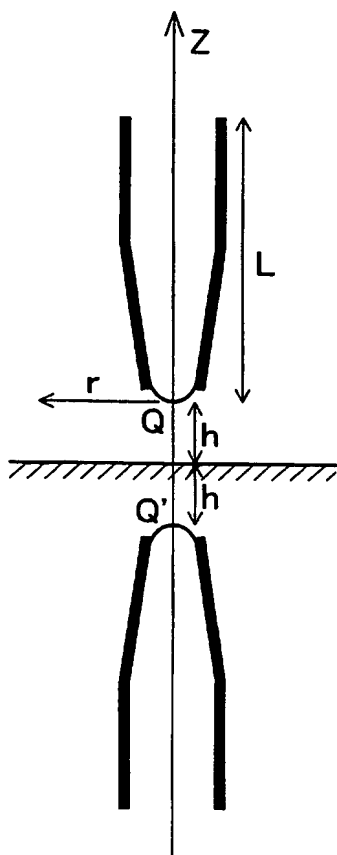
[図1(a)]



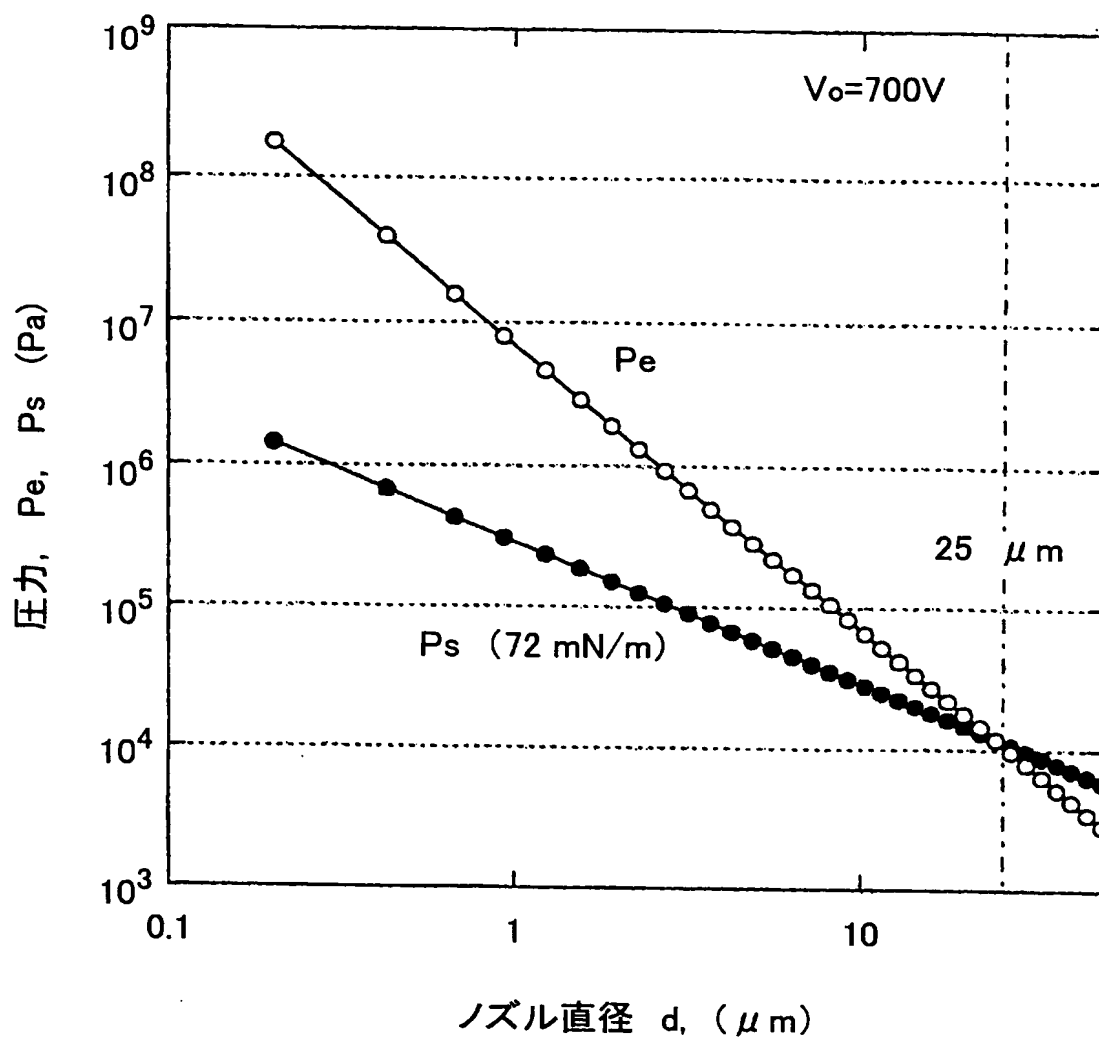
[図1(b)]



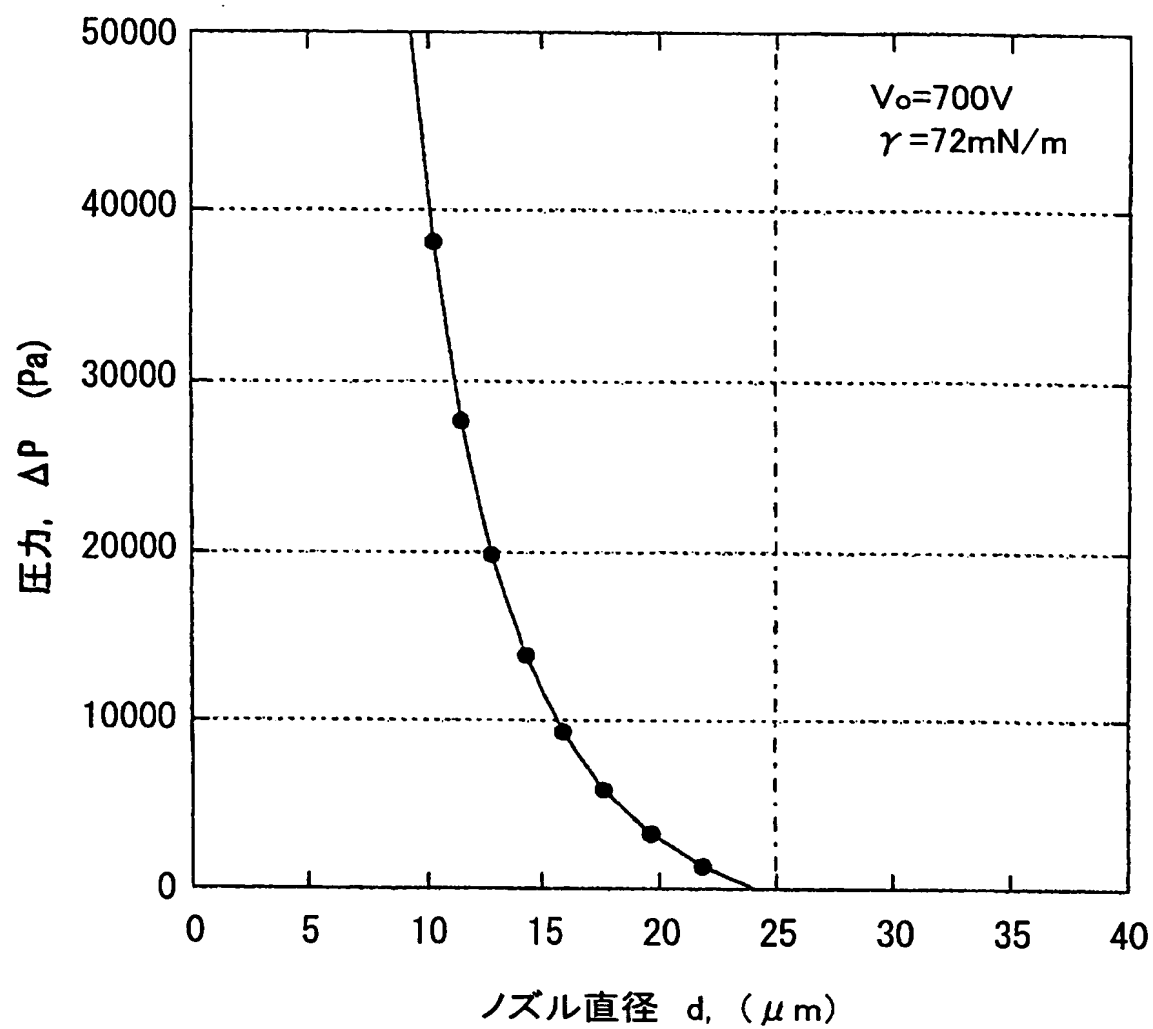
[図2]



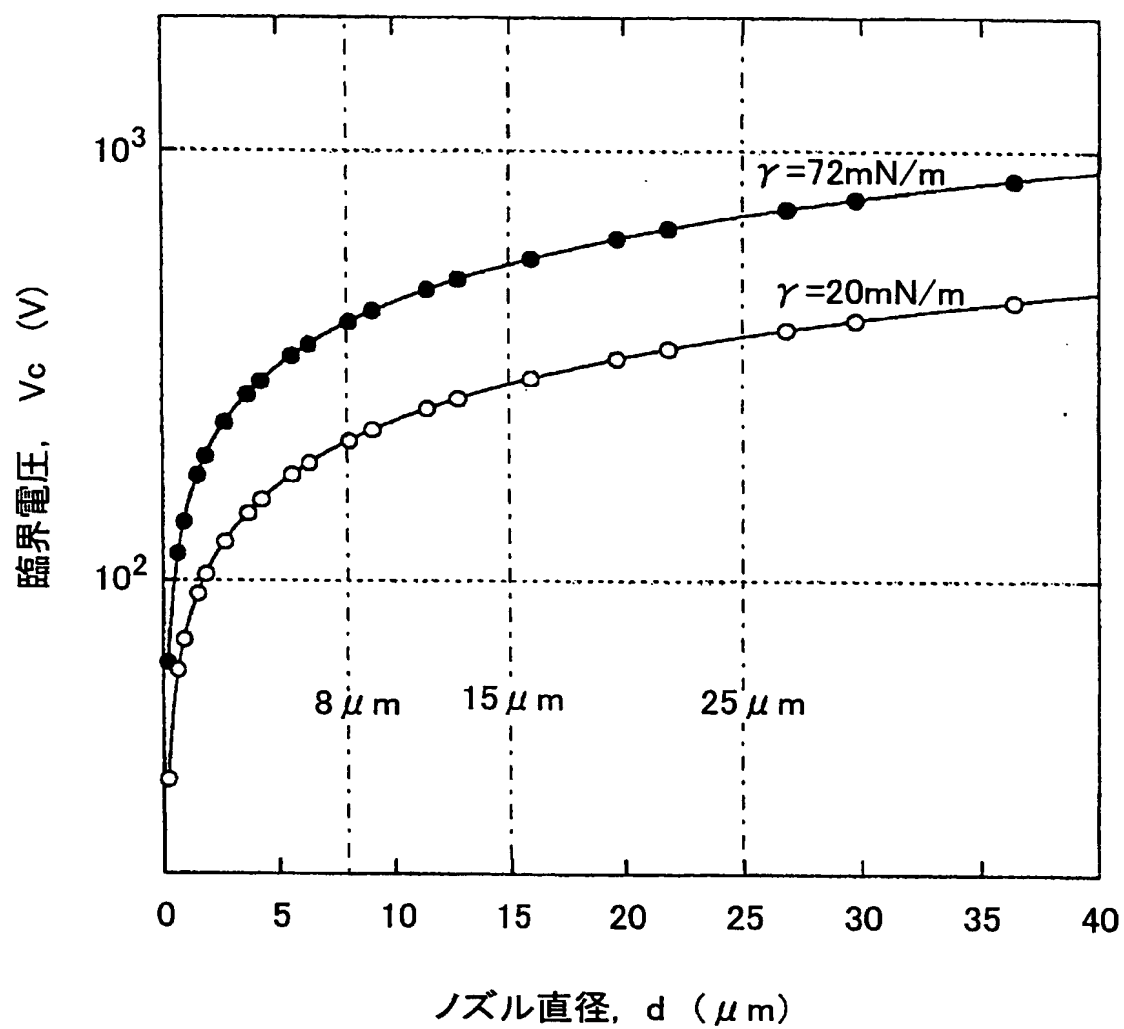
[図3]



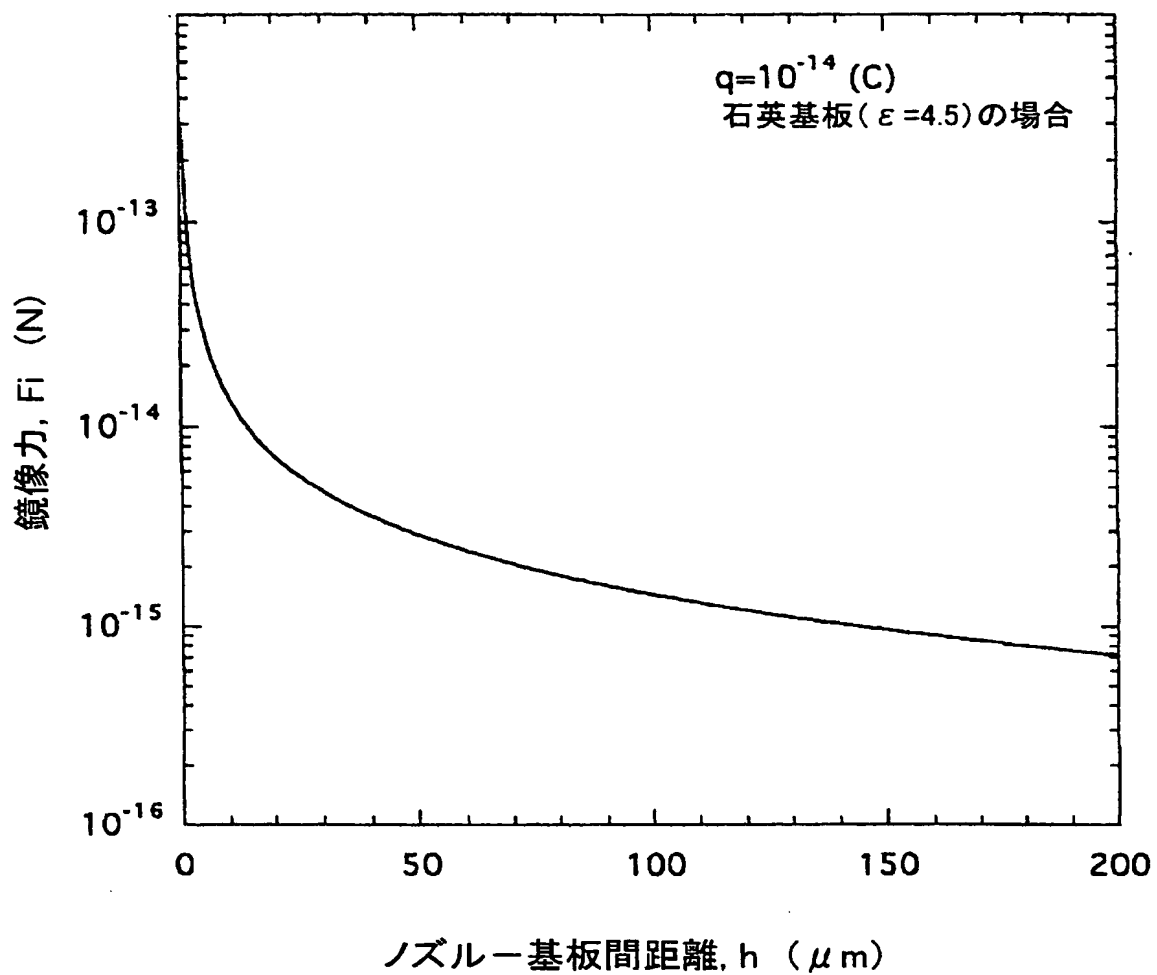
[図4]



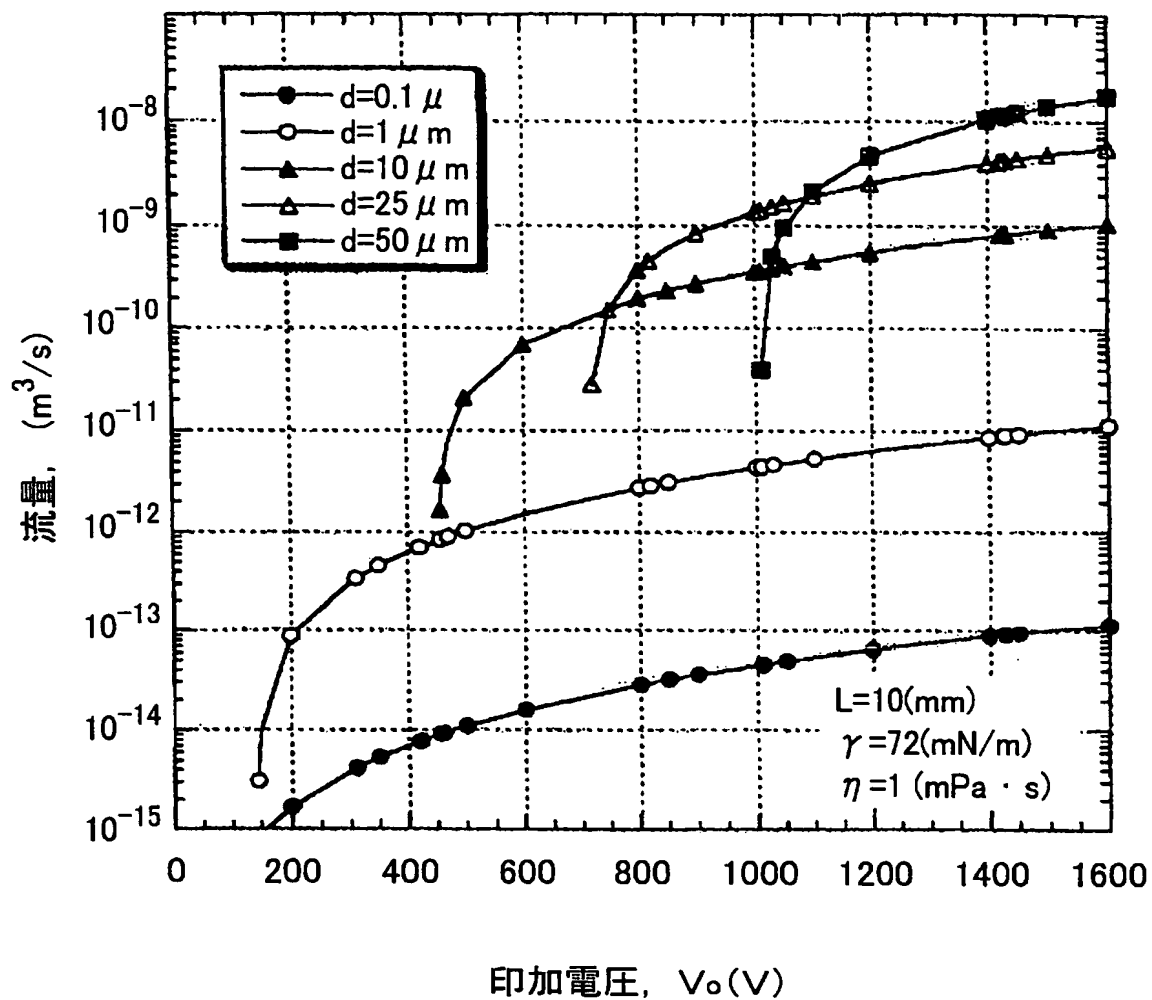
[図5]



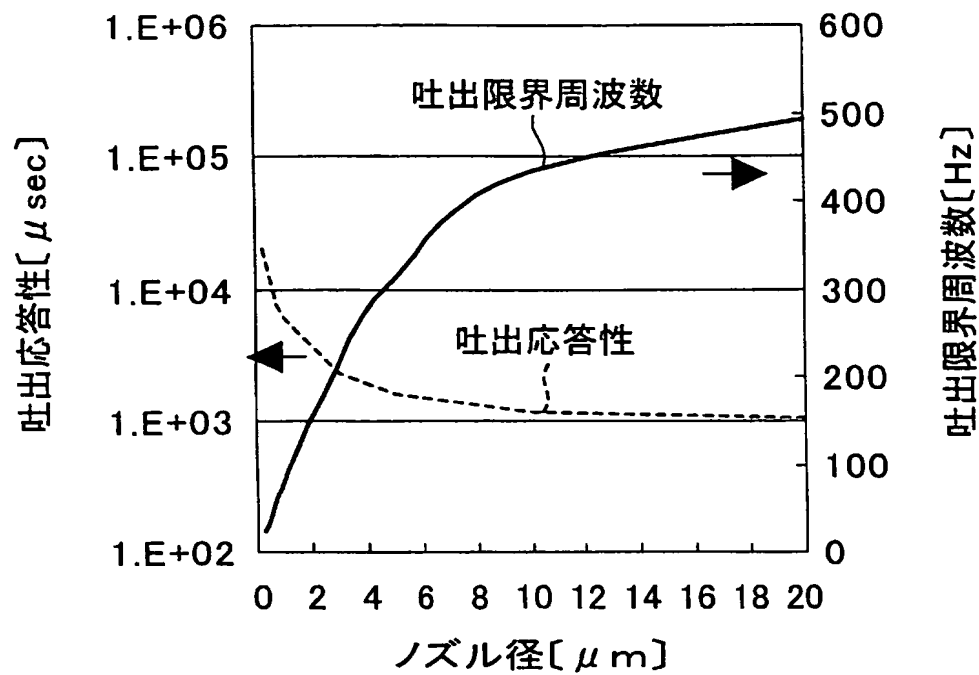
[図6]



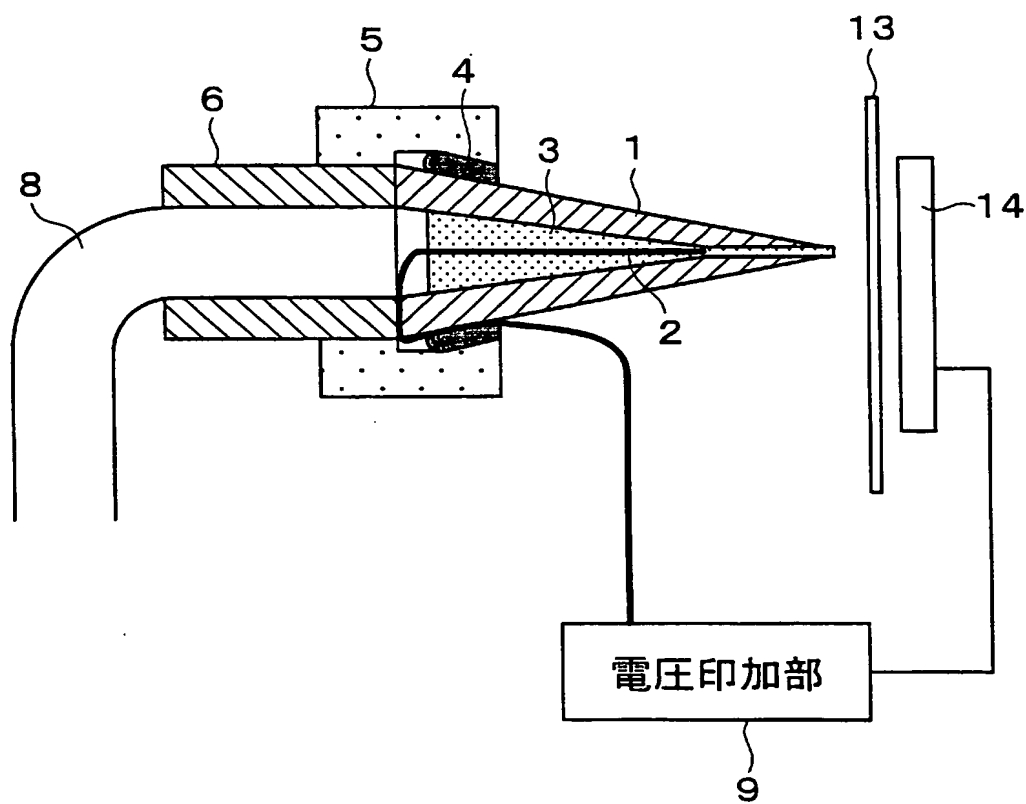
[図7]



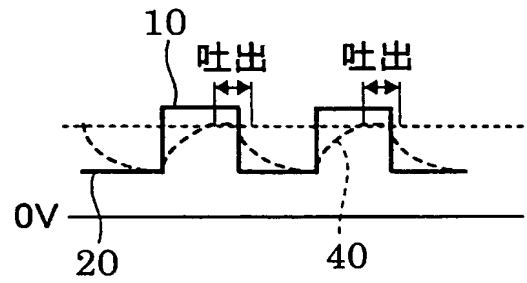
[図8]



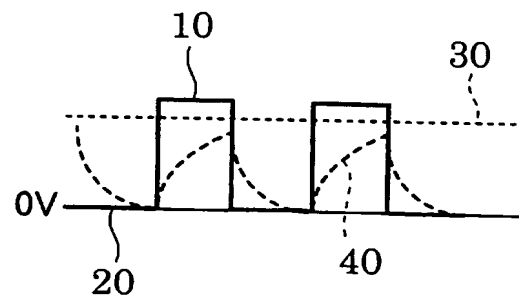
[図9]



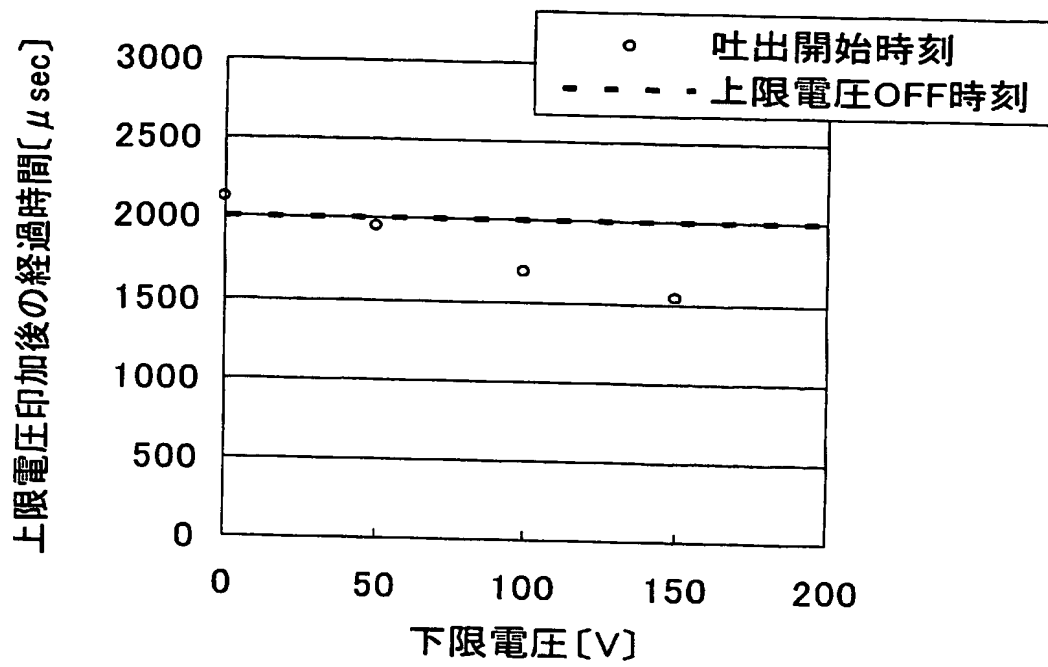
[図 10(a)]



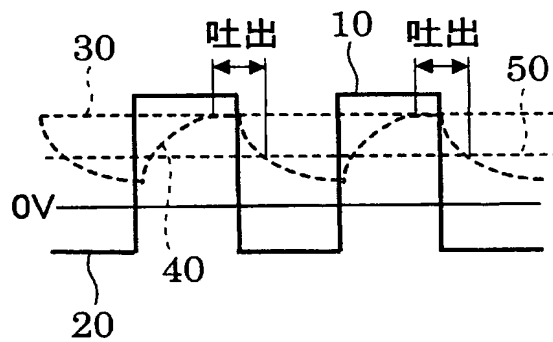
[図10(b)]



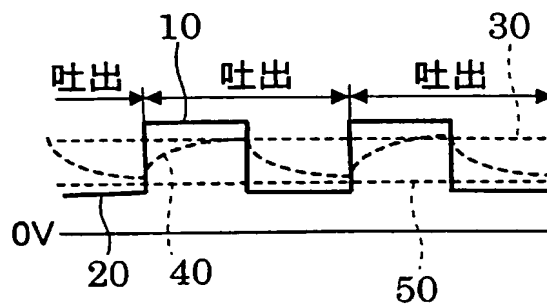
[図11]



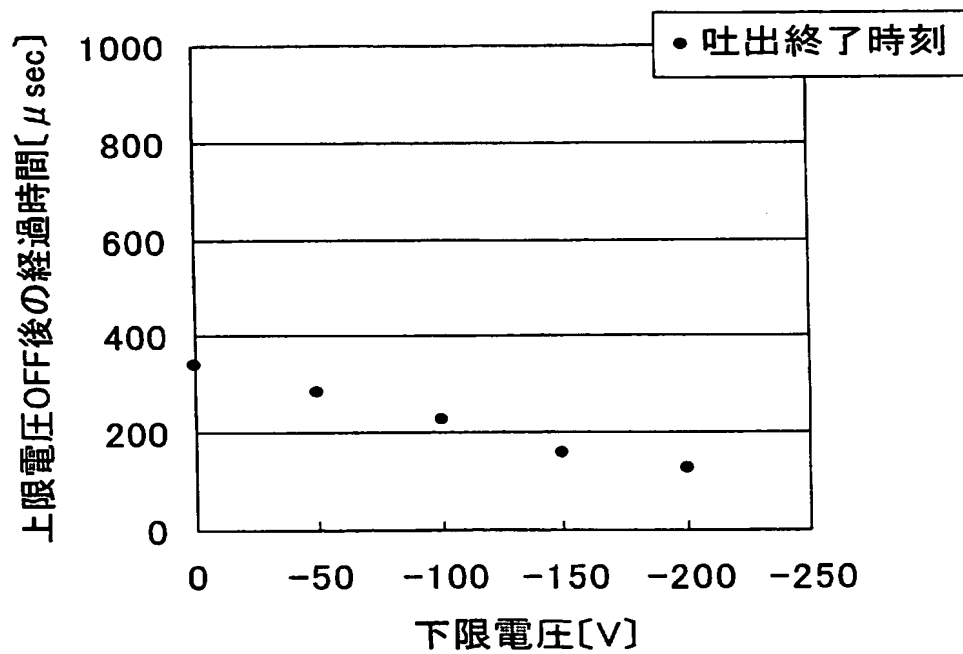
[図12(a)]



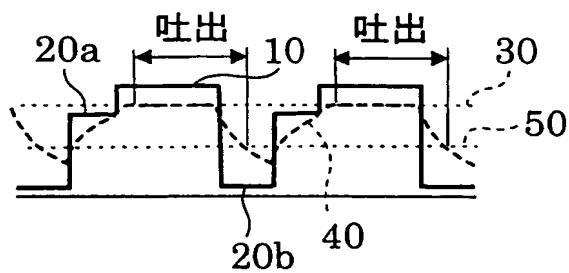
[図12(b)]



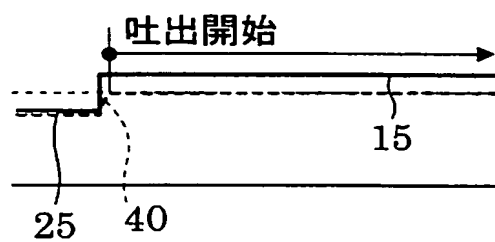
[図13]



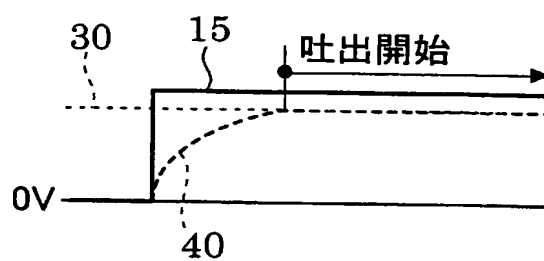
[図14]



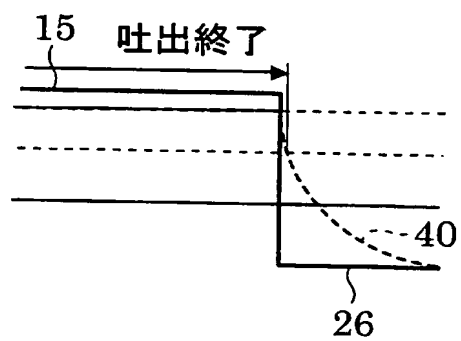
[図15(a)]



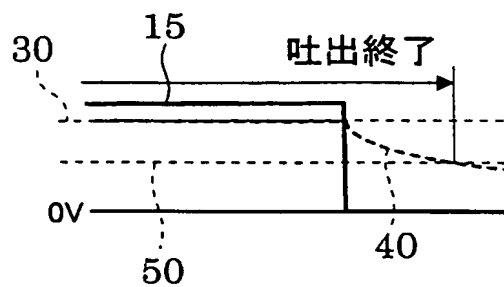
[図15(b)]



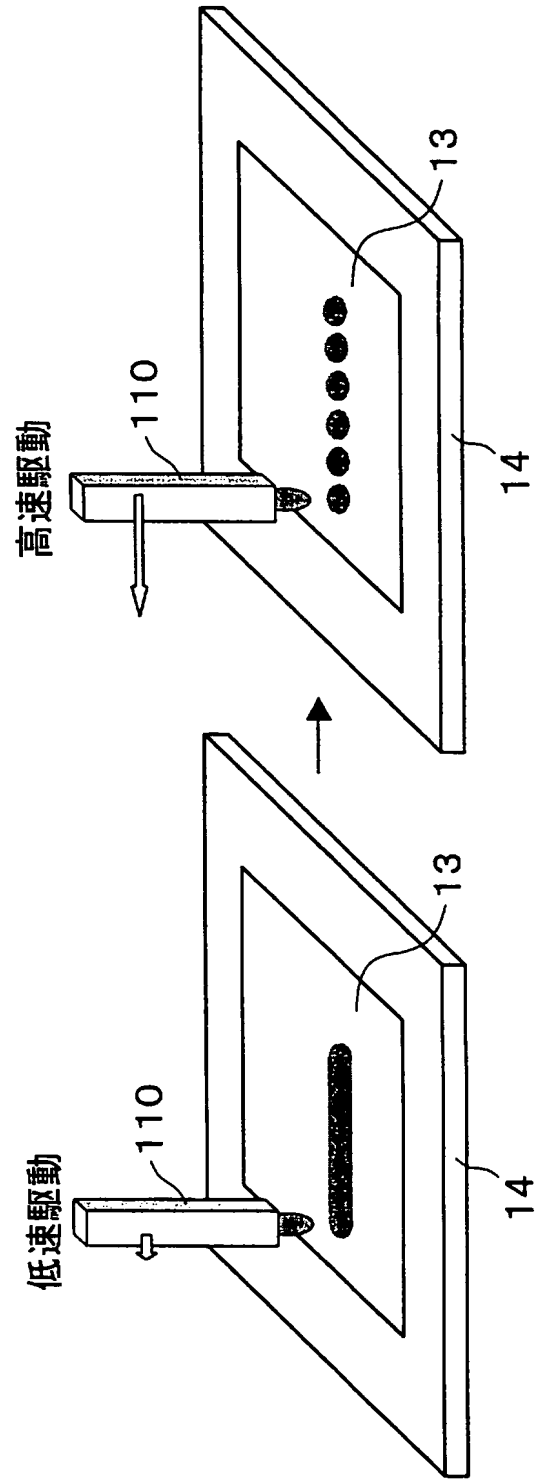
[図16(a)]



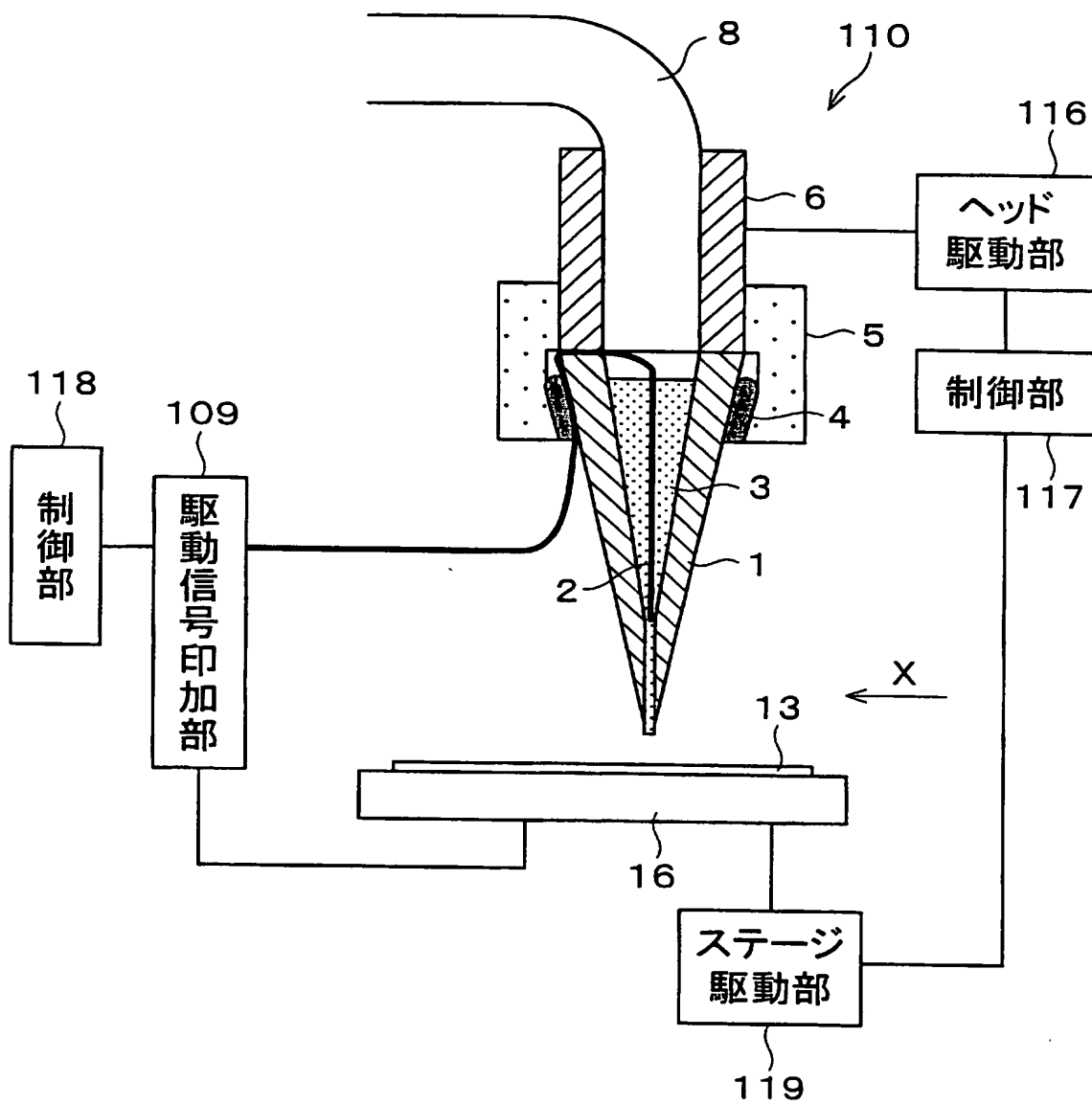
[図16(b)]



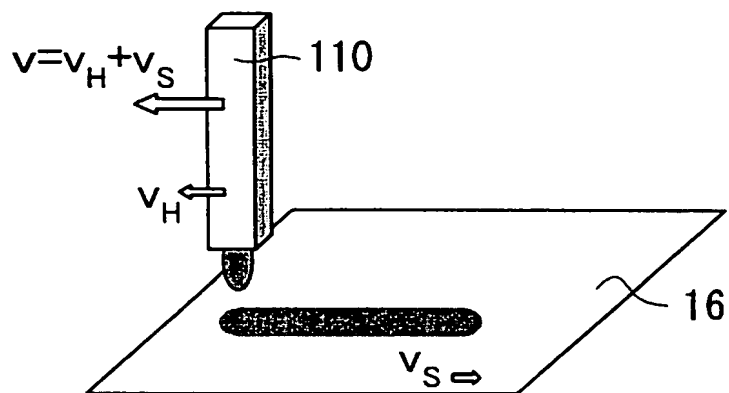
[図17]



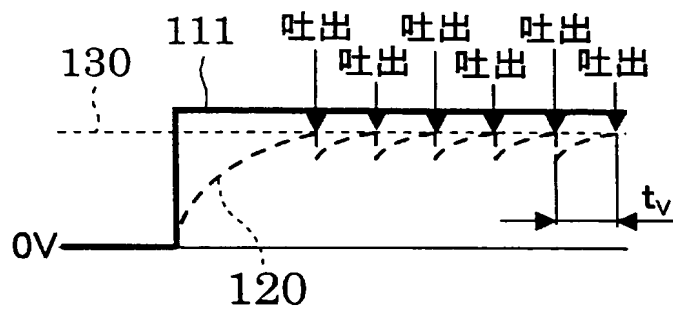
[図18]



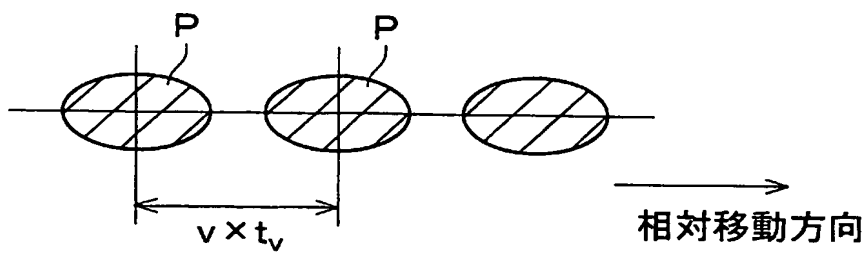
[図19]



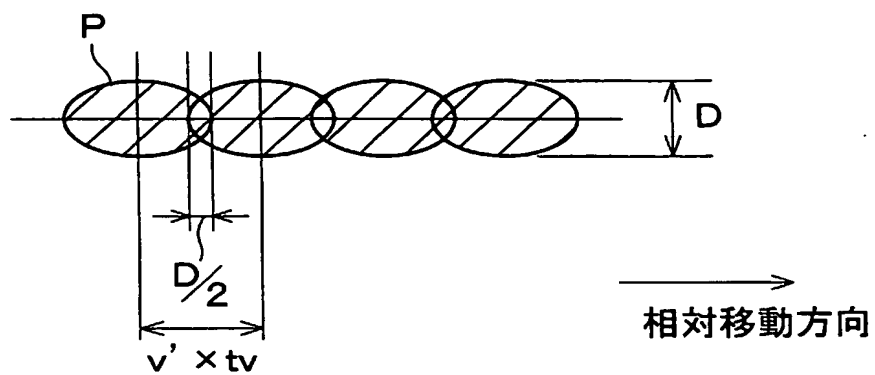
[図20]



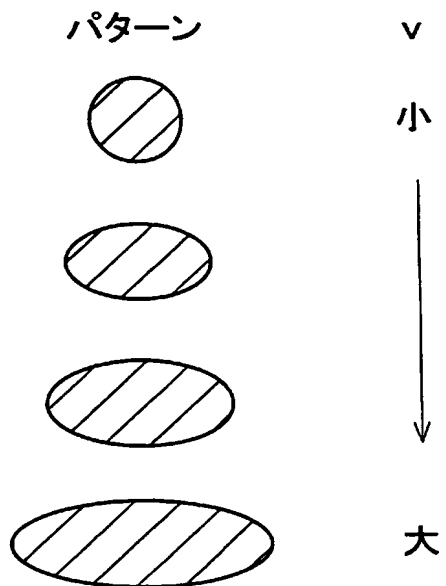
[図21(a)]



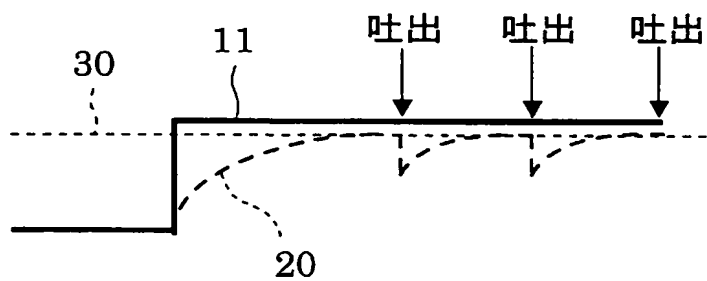
[図21(b)]



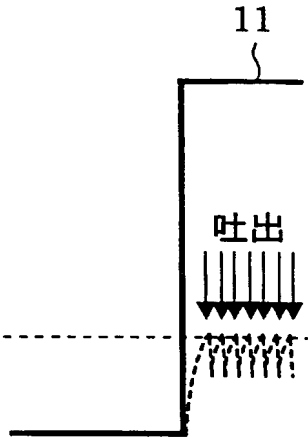
[図21(c)]



[図22(a)]



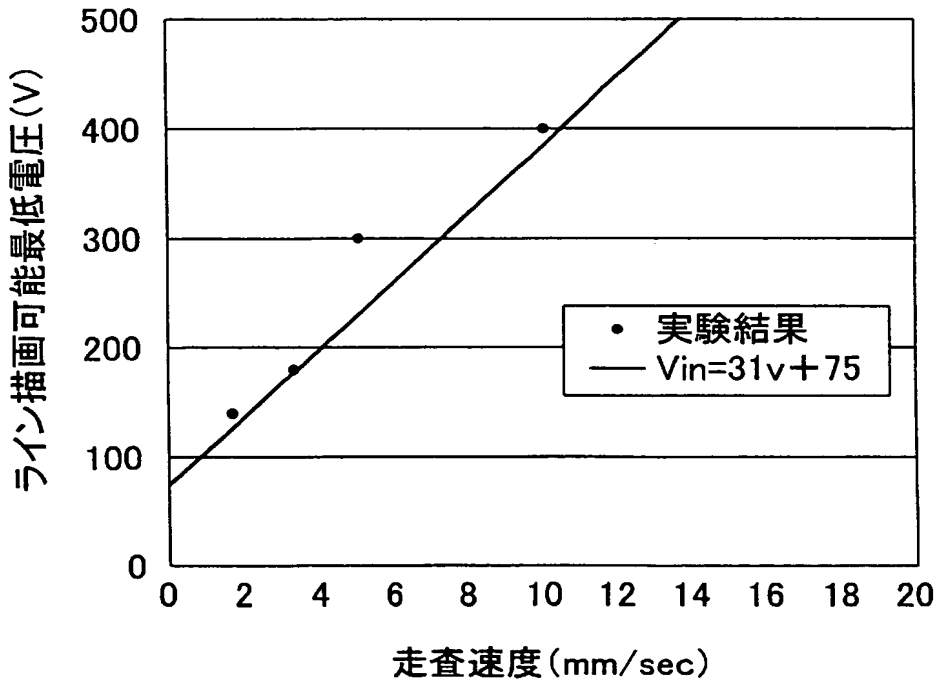
[図22(b)]



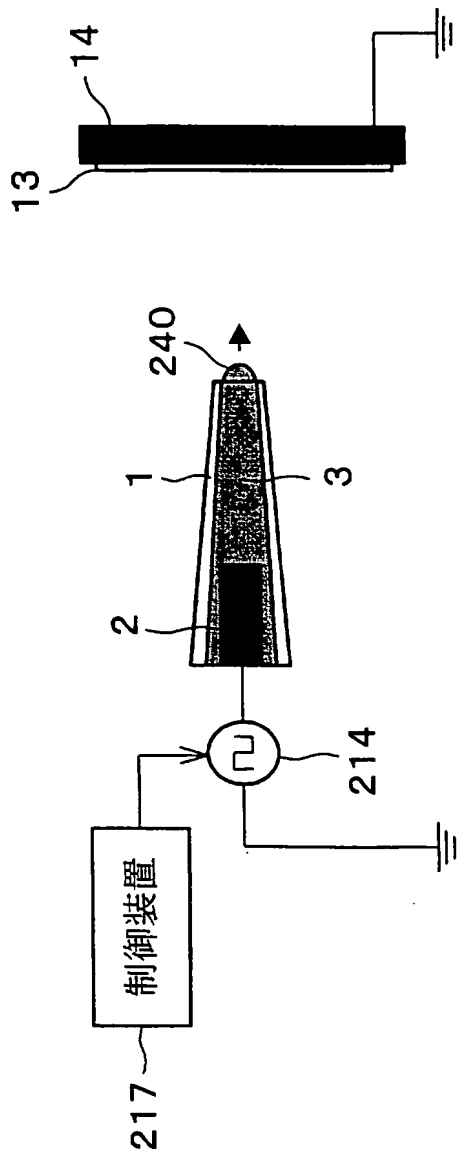
[図23]

印加信号電圧 [V]	吐出周波数 [kHz]
140	5
180	10
300	15
400	31

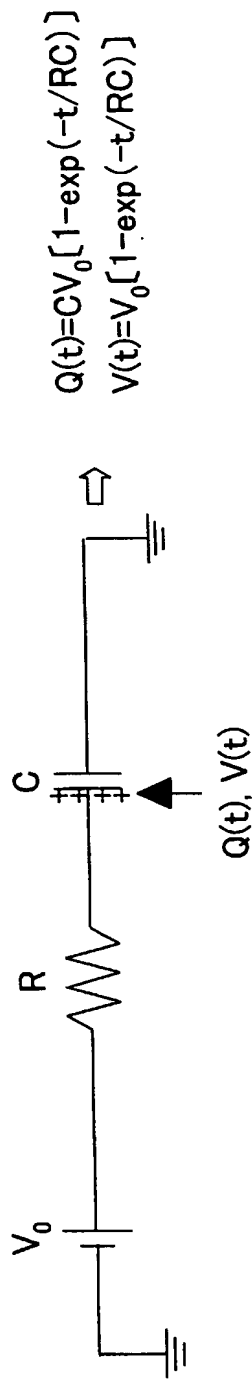
[図24]



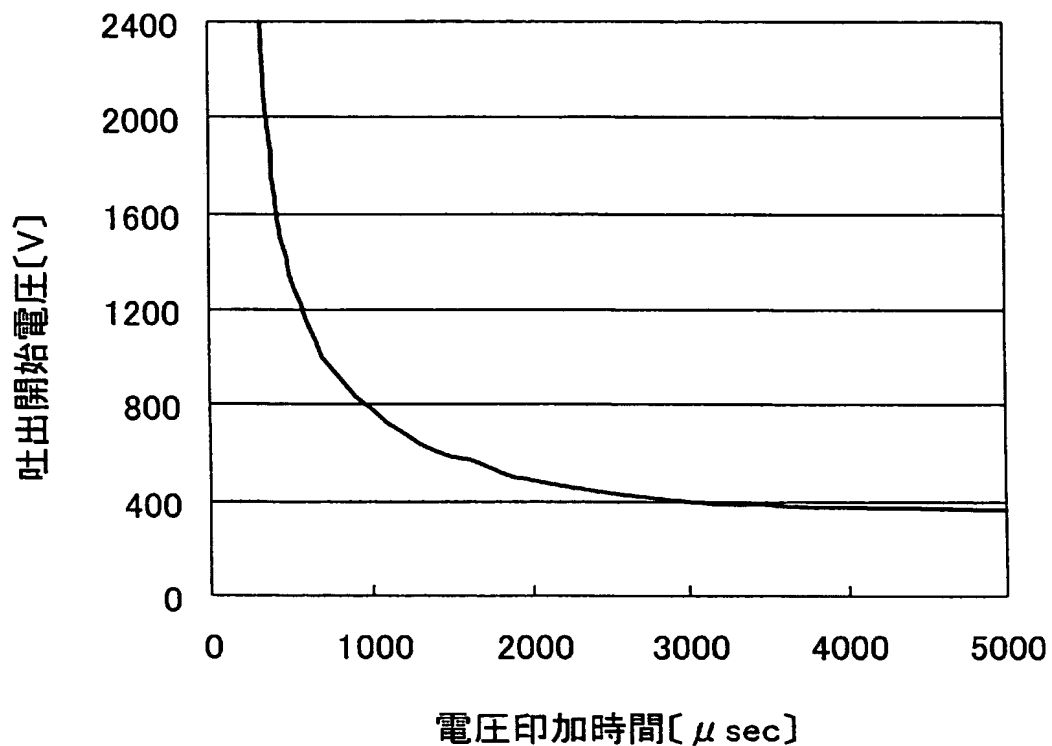
[図25(a)]



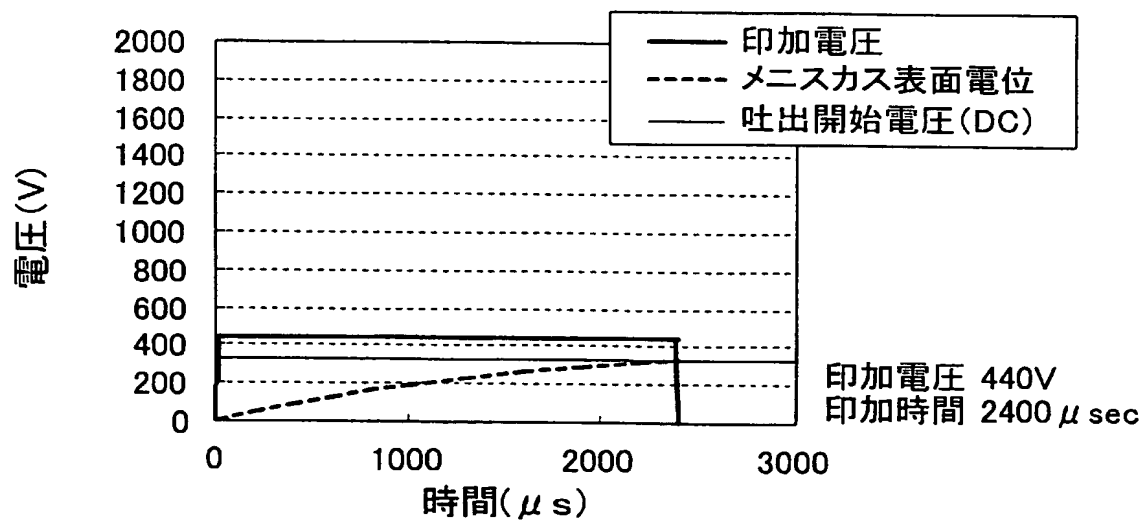
[図25(b)]



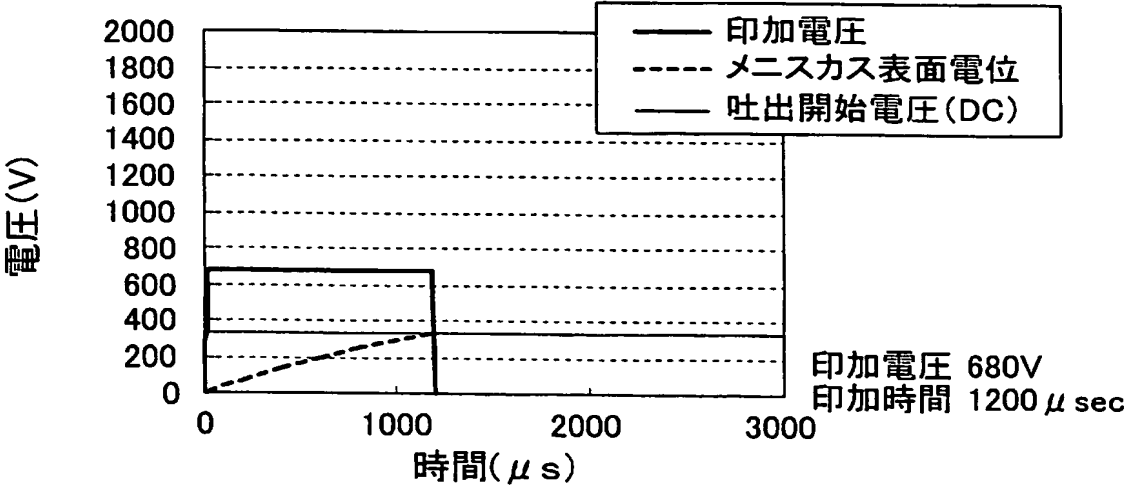
[図26]



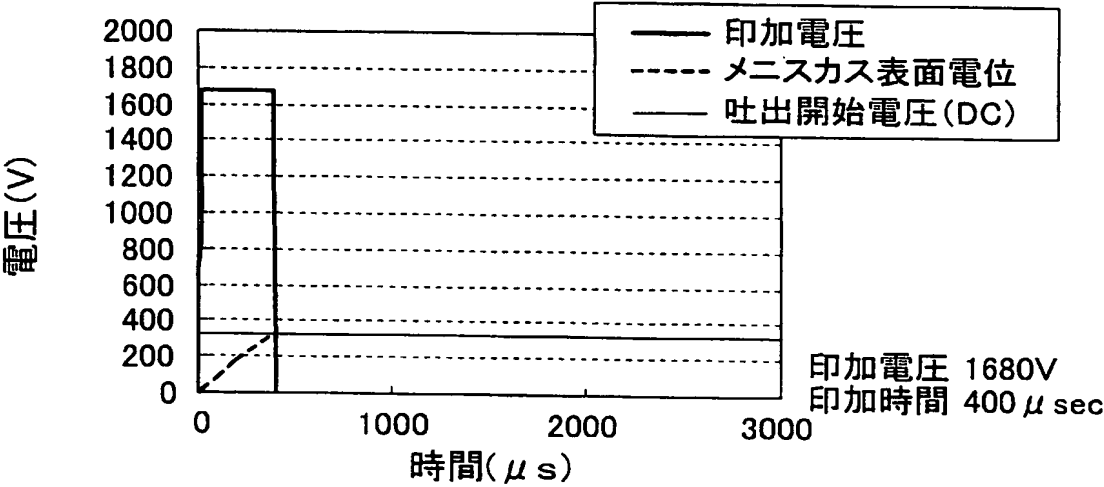
[図27(a)]



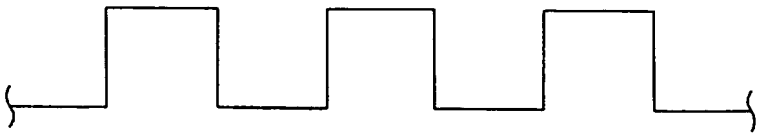
[図27(b)]



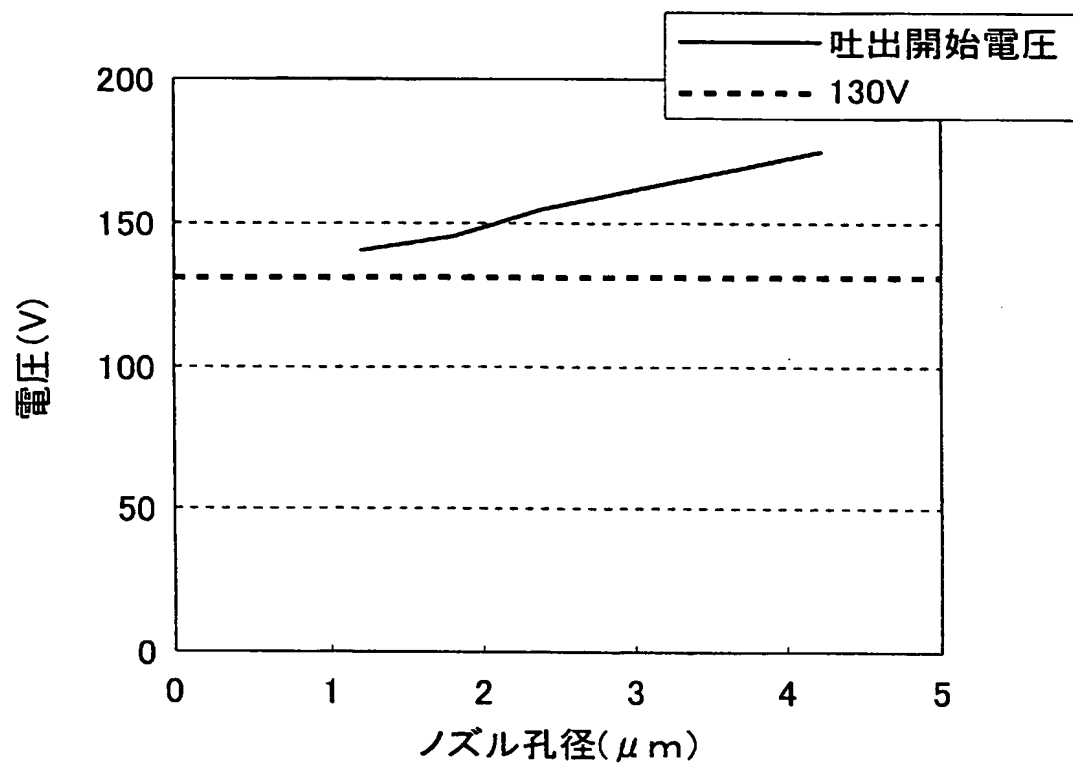
[図27(c)]



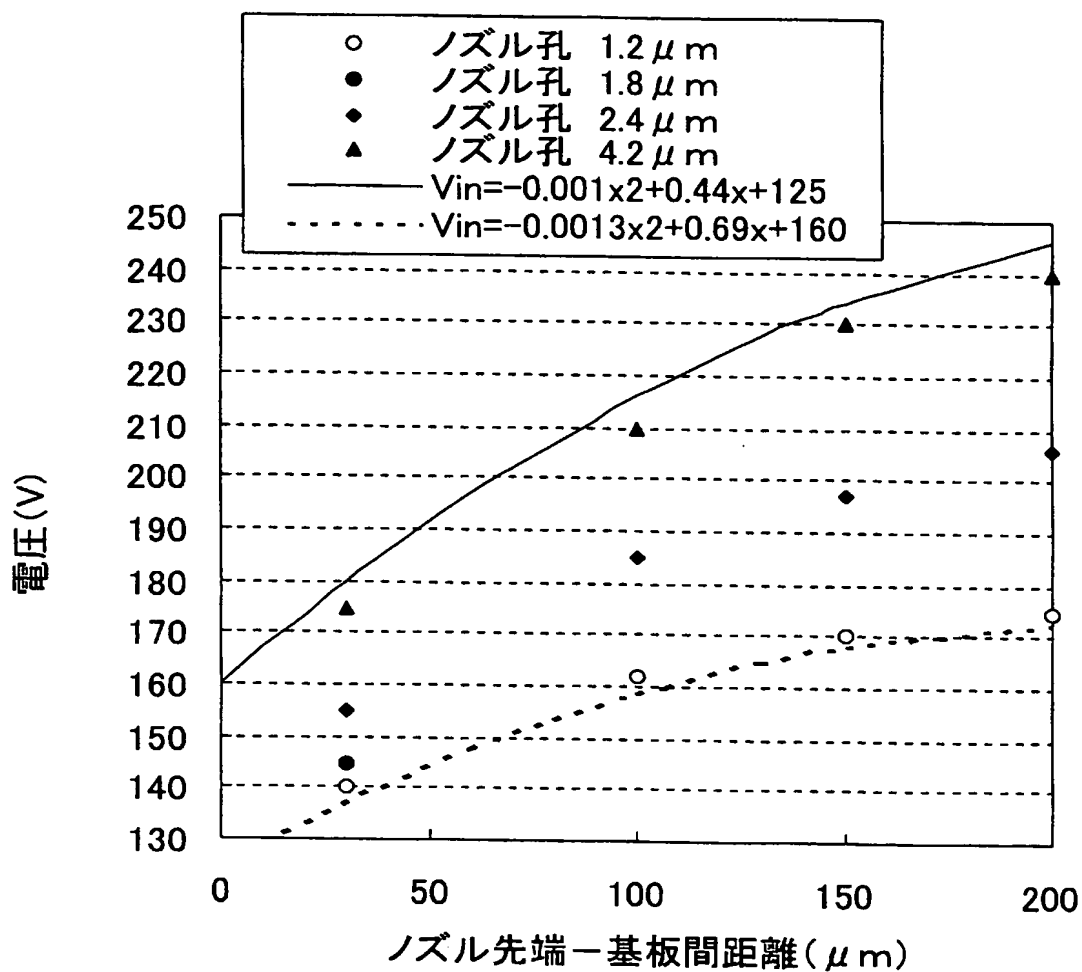
[図28]



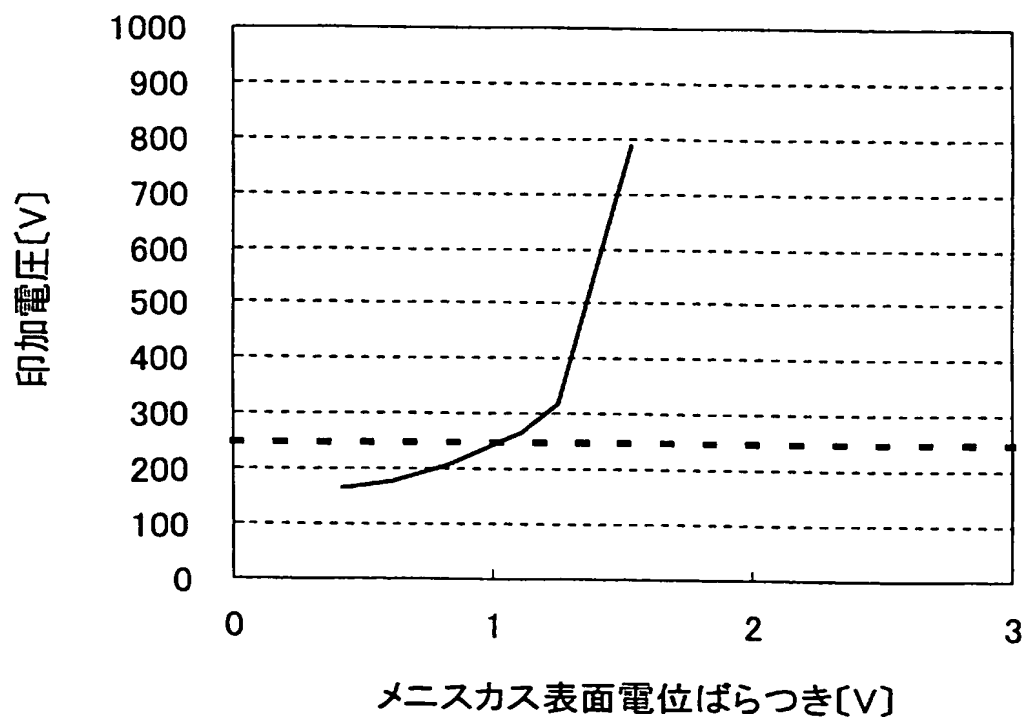
[図29]



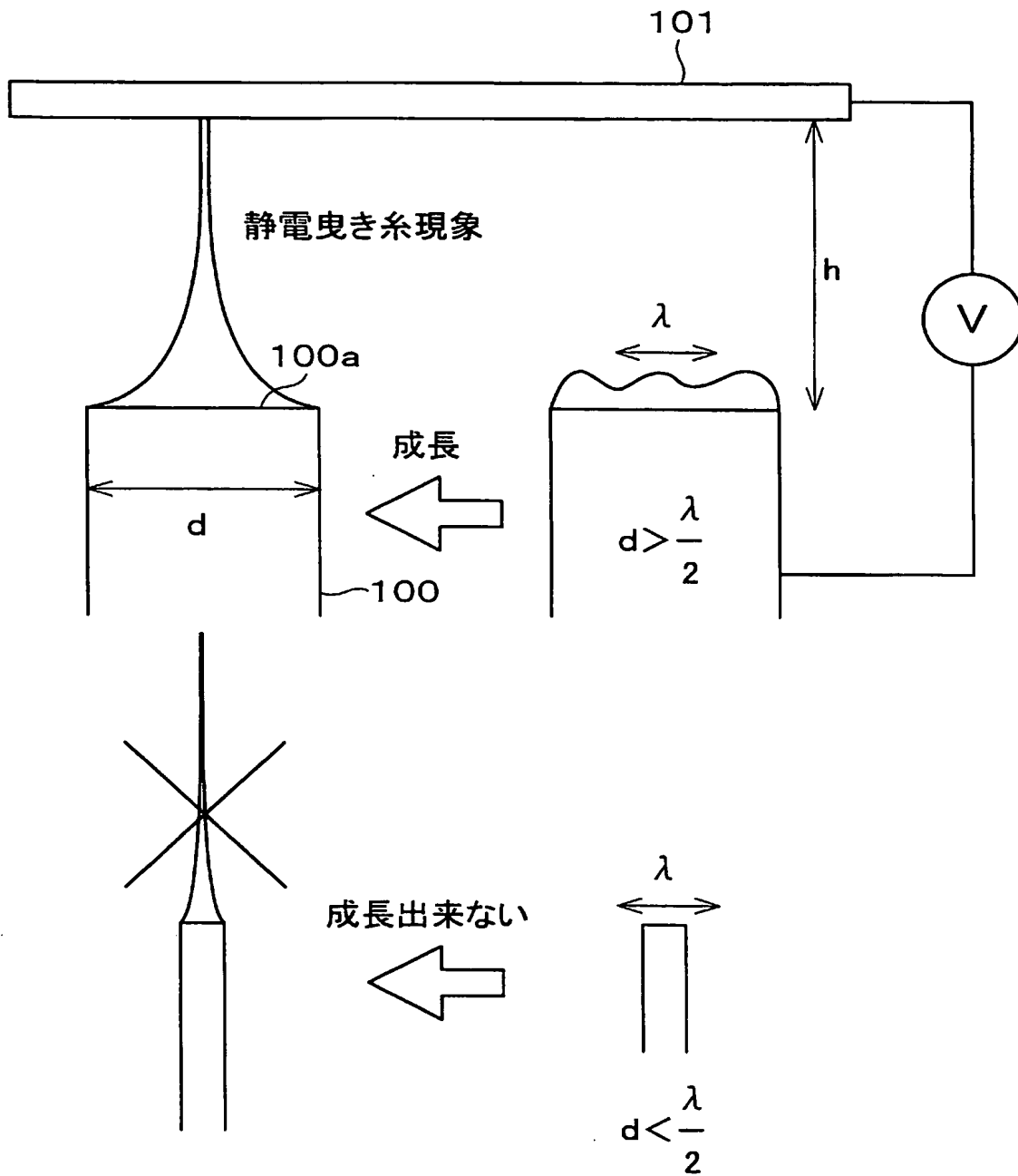
[図30]



[図31]



[図32]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011376

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ B05C5/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ B05C5/00, B41J3/04, B05D1/26

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 10-52917 A (Sharp Corp.), 24 February, 1998 (24.02.98), (Family: none)	1-20
A	JP 63-7946 A (Fuji Xerox Co., Ltd.), 13 January, 1988 (13.01.88), (Family: none)	1-20
A	JP 7-223317 A (Fuji Xerox Co., Ltd.), 22 August, 1995 (22.08.95), (Family: none)	1-20

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
11 November, 2004 (11.11.04)

Date of mailing of the international search report
30 November, 2004 (30.11.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ B05C 5/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ B05C 5/00, B41J 3/04, B05D 1/26

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2004年

日本国実用新案登録公報 1996-2004年

日本国登録実用新案公報 1994-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 10-52917 A (シャープ株式会社) 1998. 02. 24, (ファミリーなし)	1-20
A	JP 63-7946 A (富士ゼロックス株式会社) 1988. 01. 13, (ファミリーなし)	1-20
A	JP 7-223317 A (富士ゼロックス株式会社) 1995. 08. 22, (ファミリーなし)	1-20

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

11. 11. 2004

国際調査報告の発送日

30.11.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

村山 禎恒

3 F

9330

電話番号 03-3581-1101 内線 3351